

SOLO E RELEVO: PONTOS PARA UM RESGATE HISTÓRICO SOBRE O ESTUDO DAS INTERRELAÇÕES

*SOIL AND RELIEF: POINTS FOR A HISTORICAL RESCUE ON THE STUDY OF
INTERRELATIONS*

*SOL ET RELIEF: POINTS POUR UN SAUVETAGE HISTORIQUE SUR L'ETUDE
DES INTERRELATIONS*

SELMA SIMÕES DE CASTRO¹

¹ Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Departamento de Geografia/DGEO.
E-mail: selma.castro@uol.com.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5401-5852>

Recebido 1/7/21

Enviado para correção: 8/7/2021

Aceito: 12/7/2021

RESUMO

Neste artigo propõe-se uma periodização da evolução das abordagens de estudo das relações entre solo e relevo, destacando as que se considerou como relevantes em termos conceituais e metodológicos., com ênfase nos domínios da Pedologia e da Geomorfologia. Para tanto, parte-se dos pressupostos teórico-conceituais sobre o tema e prossegue-se destacando o século XX, quando se intensificaram os estudos das relações entre solo e relevo, distinguindo-se as principais abordagens envolvendo escalas e métodos de estudo, subdivididos em geoespaciais ou cartográficos e geodinâmicos ou funcionais, conduzindo aos respectivos modelos e padrões. Conclui-se que o século XX deixou um importante legado ao tema.

Palavras-chave: Geopedologia, Morfopedologia, Geomorfologia do Solo, Pedopaisagens, Sistemas Pedológicos.

ABSTRACT

This article proposes a periodization of the evolution of approaches to the study of the relationship between soil and relief, highlighting those considered relevant in conceptual and methodological terms. with an emphasis on the domains of Pedology and Geomorphology. Therefore, it starts from the theoretical-conceptual assumptions on the subject and continues highlighting the 20th century, when studies of the relationship between soil and relief were intensified, distinguishing the main approaches involving scales and study methods, subdivided into geospatial or cartographic and geodynamic or behavioral, leading to the respective models and patterns. It is concluded that the 20th century left an important legacy to the subject.

Keywords: Geopedology, Morphopedology, Soil Geomorphology, Soil Landscape/Soilscape, Pedological Systems.

RÉSUMÉ

Cet article propose une périodisation de l'évolution des approches de l'étude des relations entre sol et relief, en mettant en évidence celles jugées pertinentes en termes conceptuels et méthodologiques, avec l'accent sur les domaines de la Pédologie et de la Géomorphologie. Ainsi, il part des hypothèses théoriques-conceptuelles sur le sujet et continue de mettre en évidence le XXe siècle, où les études sur la relation entre le sol et le relief se sont intensifiées, en distinguant les principales approches impliquant des échelles et des méthodes d'étude, subdivisées en géospatiales ou cartographiques et géodynamiques ou fonctionnels, menant aux modèles et normes respectifs. Il est conclu que le 20e siècle a laissé un héritage important au sujet.

Mots-clés: Géopédologie, Morphopédologie, Géomorphologie des sols, Pédopaysages, Systèmes pédologiques.

INTRODUÇÃO

A importância do solo é atribuída comumente às suas reconhecidas e numerosas funções (BREVICK et al, 2016; PENNOCK, MCKENZIE, MONTANARELLA, 2015) com exposto no relatório da FAO (2015) comemorativo do Ano Internacional do Solo em 2015. Resumidamente, são: suporte físico das organizações e atividades socioespaciais, fator de produção, sobretudo agrícola, pastoril e florestal; fornecedor de material para construção, utensílios e obras de arte; suporte de fundações e obras em geral; abrigo da memória histórica, ambiental e cultural, inclusive arqueológica; fornecedor de produtos

para fármacos; abrigo de organismos que integram cadeias tróficas importantes e de produção de húmus nos ecossistemas; integrante de vários ciclos (carbono, nutrientes e outros); fixador de carbono sequestrado da atmosfera, além de filtro e regulador hídrico e climático.

Tais funções favoreceram estudos específicos e abordagens associadas aos temas tratados, mais especificamente, às explicações sobre as relações entre solo e relevo, as quais se ligam a várias dessas funções e são uma busca recorrente em Pedologia, em Geomorfologia e em Geografia Física, como em Ecologia da Paisagem, tanto em termos teóricos, como metodológicos (BRIDGES, 1981; PENNOCK & VELDKAMP, 2006; BREVICK et al, 2016). Porém, vários estudos sobre degradação dos solos associados ao seu uso e manejo têm evidenciado que muitas dessas funções estão alteradas ou mesmo comprometidas (LAL, 2011).

Este artigo objetiva apresentar alguns aspectos, aqui considerados relevantes na evolução dos estudos dessas relações, com base em análise e interpretação bibliográfica e na compilação de uma bibliometria geral, com base nas nomenclaturas empregadas nas publicações afins contidas na *Web of Science* (CASTRO, ALVES, OLIVEIRA, 2021). O artigo inicia-se pelos pressupostos teórico-conceituais sobre o tema, em que se discorre sobre as grandes mudanças conceituais de solo e de paisagem, e prossegue destacando o século XX, quando se intensificaram os estudos das relações entre solo e relevo, este comumente entendido como sinônimo de paisagem, por ser seu descritor talvez mais relevante em termos da distribuição espacial dos solos. Nesse ponto, distinguindo-se as principais abordagens, escalas e métodos de estudo aqui subdivididos em geoespaciais ou cartográficos e geodinâmicos ou comportamentais.

A análise bibliométrica permitiu reconhecer o período entre os anos 30 e 80 do século XX como aquele em que os estudos das relações entre solo e paisagem, com ênfase em solo e relevo, se concentraram. A análise bibliográfica permitiu reconhecer ao menos três principais grandes fases evolutivas sucessivas desses estudos: (a) a inicial, do século XIX, quando a Pedologia e a Geografia do Solo foram criadas, os conceitos basilares da Pedologia foram estabelecidos (solo, corpo de solo, horizontes, perfil de solo, fatores de formação) e o relevo era considerado fator de formação e distribuição dos solos, sobretudo na escala da paisagem ou local; (b) a segunda, da inovação conceitual e metodológica do século XX, do estreitamento das relações entre Geomorfologia e Pedologia, em que os conceitos de solo e de paisagem mudaram consideravelmente, surgiram novas nomenclaturas para os estudos dessas relações e o relevo foi valorizado de modo crescente, passando a ser considerado como descritor da paisagem e fator determinante de distribuição dos solos nas paisagens, seja ao longo de superfícies geomórficas escalonadas, seja ao longo das vertentes, associada aos parâmetros relativos aos indicadores topográficos primários (ITP) e consequentes fluxos de energia e matéria, vertical e lateralmente; (c) a recente, desde o final do século XX, denominada de Geografia do Solo Revigorada ou Renovada, fundamentalmente cartográfica, favorecida pelas geotecnologias digitais e espacialização dos ITPs consagrados nas fases anteriores, valorizando o mapeamento digital dos solos e a pedometria (métricas), sobretudo, de suas propriedades, frequentemente destinada a fins agrônômicos e ambientais.

A análise bibliográfica permitiu reconhecer três principais tendências conceituais e metodológicas, em que os produtos dos estudos são de natureza: (a) os geoespaciais ou cartográficos, na forma de mapas; (b) os geodinâmicos ou comportamentais, na forma de sequências laterais de solos e suas dinâmicas morfológicas, físico-hídricas/hidrológicas e constitucionais, comumente denominadas de topossequências, acompanhadas de várias

análises e determinações laboratoriais, e, não raro, micromorfologia e ensaios em campo; e (c) a mista, que associa ambas.

Os geoespaciais são fruto de uma abordagem geográfica física, voltada a zoneamentos/compartimentações ou equivalentes, resultando em mapas produzidos com base na correlação espacial entre componentes do meio físico, os quais, na contemporaneidade, recebem apoio substancial e crescente de geotecnologias digitais. Os geodinâmicos ou comportamentais, baseados em abordagens pedológicas, como levantamentos morfológicos de sequências laterais de solos ao longo de superfícies geomórficas escalonadas na paisagem ou de catenas ou topossequências ao longo das vertentes representativas de uma dada paisagem, acompanhados de determinações laboratoriais diversas e, não raro, de análises microscópicas e ultramicroscópicas das microestruturas, além de ensaios e monitoramentos. O misto que utiliza ambos.

Todos contribuíram para o desenvolvimento de padrões espaciais, tais como compartimentos morfopedológicos, pedopaisagens, pedoformas e geomorfons, com aplicações, principalmente em morfogênese x pedogênese e em comportamento/funcionamento de solos atual ou preditivo nas paisagens.

PRESSUPOSTOS DAS RELAÇÕES ENTRE SOLO E RELEVO

Será aqui enfatizada a evolução conceitual a respeito de solo, de paisagem e das relações entre ambos, com ênfase nas relações entre solo e relevo ora consideradas mais relevantes.

A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE SOLO

O quadro 1, adaptado e atualizado daquele de Bockheim (2005) por Castro, Alves e Oliveira, (2021), e aqui complementado, resume os principais aspectos da evolução do conceito de solo.

Quadro 1 - Evolução das abordagens no estudo dos solos.

Pré-1880	Conceito de solo como meio de desenvolvimento das plantas e produto de alteração de rochas, sobretudo pela Agrogeologia.
1880– 1900	Surgimento da Pedologia e de conceitos pedológicos propostos por Dokuchaev e discípulos, que se tornaram basilares: perfil de solo, horizontes, fatores de formação dos solos, corpo de solo; e das primeiras ideias sobre Geografia do Solo como estudo da distribuição dos solos, inicialmente considerando duas escalas, a zonal, com ênfase nos fatores bioclimáticos, e a local, com ênfase no relevo e material de origem.
1900– 1940	Aceitação global do conceito de solo como corpo natural (corpo de solo) e seus fatores de formação, desenvolvimento da primeira classificação de solos regional, criação de serviços de pesquisa em solos, formulação das chaves de formação do solo; criação da catena de solos. Proposição de continuidade de solos como manto de solos, inspirado no manto de intemperismo.
1940– 1960	Refinamento da classificação taxonômica global dos sistemas de solos, melhoria de entendimentos dos fatores de formação dos solos e dos processos pedogenéticos, com destaque para as equações de Jenny (1941 e 1946); desenvolvimento de uma classificação taxonômica global de solos; intensificação do mapeamento de solos. Proposição de Geopedologia, contração de Geomorfopedologia valorizando a geomorfologia para mapeamento dos solos; definição de termos topossequência, cronossequência, litossequência, biossequência e outras. Intensa discussão sobre catenas. Incorporação da drenagem vertical e sobretudo lateral como condicionante da pedogênese)
1960- 1985	Entendimento dos processos geoquímicos de intemperismo e influência na pedogênese. Valorização da Micromorfologia de solos e da ultramicroscopia. Refinamento da classificação taxonômica global de solos; proposição do conceito de pedon e polipedon, de horizontes diagnósticos. Reconhecimento da coevolução dos solos e formas do relevo; destaque para as escalas de semidetalhe e sobretudo detalhe, questionamento das catenas e valorização das

	topossequências e cronossequências. Definição dos primeiros modelos de padrões da cobertura de solo e da topossequência composta de solos geneticamente filiados entre si, lateralmente, independente do substrato; conceitos de cobertura de solo estruturada em horizontes e corpos de solos, e de cobertura pedológica estruturada em horizontes, mas sem configurar corpos de solos, para o <i>continuum</i> de solos na superfície emersa da crosta terrestre. Posição de Geomorfologia do Solo, Morfopedologia e Análise Estrutural da Cobertura Pedológica como protocolos bi e tridimensionais para estudo dos solos nas paisagens. Valorização e definição de paisagem em Pedologia com ênfase no relevo como fator de formação e descritor.
1985– 2000	Entendimento crescente dos processos pedogenéticos, destacando a importância da lateralidade; refinamento de hidropedologia e dos modelos de solos e da classificação taxonômica global dos solos; desenvolvimento de sistemas de informação estatística e computadorizada sobre solos; uso crescente de imagens digitais e de programas computacionais para mapeamentos de solos em diferentes escalas. Pedologia passa a ser ramo da Ciência do Solo. E Ciência do Solo integrando a Ciência do Sistema Terra.
2000 - 2015	Desenvolvimento dos conceitos de Pedosfera, de Pedodiversidade, de Etnopedologia e Zona Crítica. Desenvolvimento de Pedometria, de Sistema de Sensoriamento remoto e proximal, de Mapeamento Digital dos Solos. Valorização das aplicações ambientais da Pedologia. Nova classificação taxonômica dos solos (WRB- World Reference Basis).
2015-2020	Idem anterior, acrescido de Geografia do Solo Revigorada, com ênfase no mapeamento digital das propriedades dos solos, nos modelos de pedogênese, de circulação hídrica e de sistemas pedológicos. Expansão das aplicações ambientais da Pedologia, sobretudo quanto aos modelos de predição. Atualização da WRB.

Fonte: adaptado de Bockheim (2005) por Castro, Alves e Oliveira, (2021) e atualizado para 2015-2020.

O Quadro 1 permite perceber que os períodos 1900 - 1940 e 1960-1985 foram muito importantes por terem consolidado mudanças notáveis de paradigmas criados, em geral, imediatamente antes. No primeiro período consagrou-se o conceito de *corpo de solo*, estruturado em seu interior por horizontes e correspondendo a um tipo de solo ou de associações de solos, inspirado na ideia de estrutura interna do *manto do solo* (FRIDLAND, 1974), pouco depois denominado *cobertura de solo* (HOLE & CAMPBELL, 1985), e, no segundo, contrapondo-se este conceito e substituindo-o por solo como um meio contínuo, ou *continuum*, embora também estruturado internamente em horizontes superpostos, justapostos e mesmo superimpostos, denominados de *cobertura pedológica* (BOULAINÉ, 1978; BOULET et al, 1982 a, b; RUELLAN, 1985), como se verá adiante. Em ambos, a continuidade dos solos na superfície terrestre foi reconhecida, contudo, o segundo, conhecido como da escola pedológica francesa contemporânea, não teve a mesma difusão que os anteriores (ESPÍNDOLA, 2010).

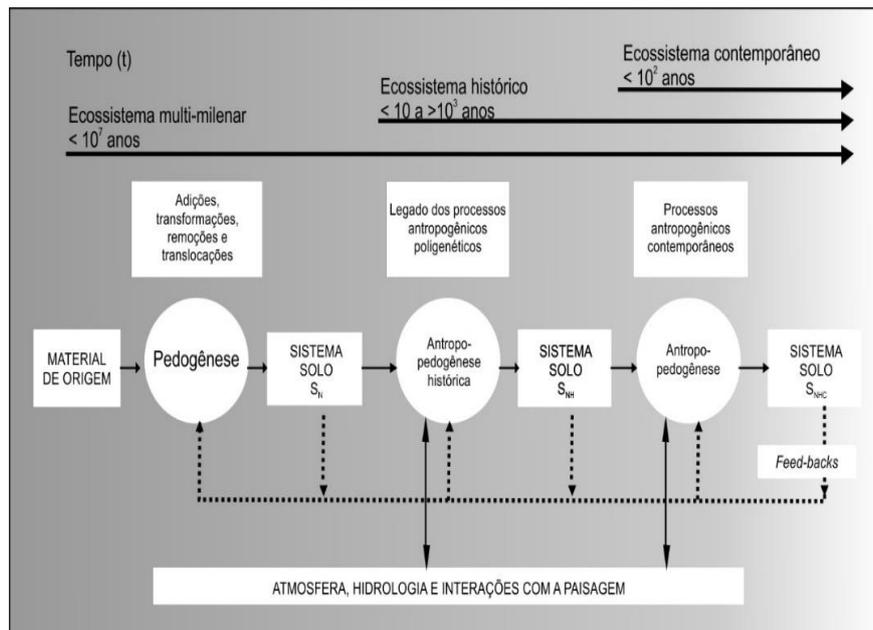
Assim, no processo evolutivo conceitual de solo chama a atenção que, de modo crescente, ele é considerado maior que o perfil ou o pedon, e resulta da reação, transformação e evolução de matéria e energia de um dado material de origem, um material intemperizado ou mesmo solo pré-existente, que desenvolve uma matriz e uma estrutura pedológica em três dimensões (3D), capaz de fornecer indicadores sobre sua origem e evolução no espaço, e na 4ª. Dimensão (4D) que se refere ao tempo. E, ainda, o fato de ser um *continuum* na superfície terrestre, promovendo a adoção do termo Pedosfera, como o conjunto de solos de toda a Terra, resultante da interseção de quatro outras esferas: hidrosfera, atmosfera, biosfera e litosfera (LEPSCH, 2011).

Ibagnez et al (2005) ressaltam que a Pedologia clássica tem sido bastante questionada sobre o conceito de solo como um corpo natural na paisagem, sendo que a principal crítica é que ele não representa nem explica satisfatoriamente a complexidade e variabilidade do solo em *continuum* pois, na verdade, para classificar e mapear os solos, ela fragmenta o *manto do solo* ou a *cobertura do solo* em unidades discretas e mutuamente exclusivas. Para Ruellan (1985) o solo não pode ser delimitado como plantas ou animais porque não é indivíduo como eles. Para ele, corpo de solo seria uma

delimitação artificial. Entretanto, para Ibagnez et al (2005), mesmo que o *manto do solo* possa ser visto como um campo contínuo (Pedosfera) ele compreende numerosos agregados de entidades “artificiais” ou “naturais” (pedotaxa). Portanto, conceitualmente, um *continuum* não é incompatível com unidades discretas. Anos atrás, Fridland (1976) já defendia o "discreto-contínuo" como a natureza do *manto do solo*.

Quanto ao tempo, Richter & Yalon (2012), identificaram três fases da evolução do entendimento do que eles chamaram de *Sistema Solo*, inserido no que eles se referem como três ecossistemas: o multimilenar, o histórico e o contemporâneo (Fig.1), o que dotaria os solos de crescente complexidade para sua formação e conservação.

Figura 1 - Evolução temporal do entendimento de solo em três fases: 1) Fase milenar - pedogênese natural (SN) $\leq 10^7$ anos; 2) Fase antro-pedogenética histórica (SNH) $\leq 10^7$ a 10^3 ; 3) Fase antro-pedogenética contemporânea (SNHC) $\leq 10^2$ anos.

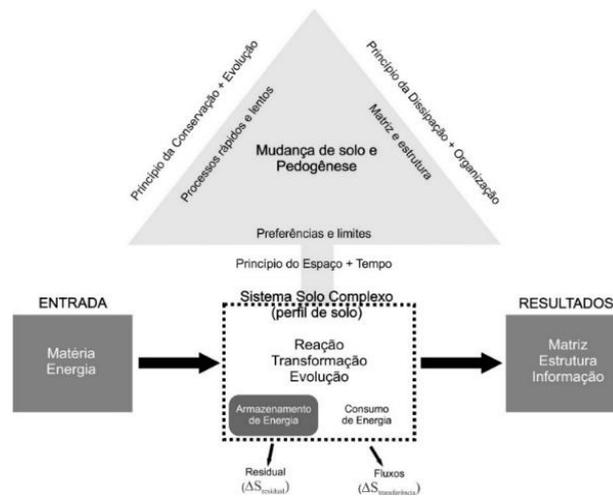


Fonte: Adaptada de RICHTER e YALON, 2012 por CASTRO, ALVES e OLIVEIRA, 2021.

Lin (2011), divide o estudo dos solos segundo três princípios: o da conservação e evolução (velocidade dos processos), o da dissipação e organização (da matriz e estrutura) e o do espaço e tempo (das tendências preferidas e limites). O solo constitui, portanto, um sistema complexo que é visível através de uma seção vertical, ou seja, do perfil de solo (Fig. 2).

Por outro lado, embora as paisagens contenham solos, na maioria das vezes são personagens escondidos sob nossos pés e invisíveis aos nossos olhos, exceto quando expostos em covas e cortes diversos. Mesmo assim, as paisagens têm sido reafirmadas como a escala de observação mais perceptível pelo ser humano, por estar ao alcance da visão, mesmo quando a considerem geneticamente como um produto da dialética das relações entre o meio físico, o potencial ecológico e as atividades humanas (BERTRAND, 2004).

Figura 2 - Os três princípios da estrutura geral do estudo dos solos.



Fonte: LIN, 2011.

Convém lembrar que os solos têm sido componentes de destaque nas paisagens, devido suas funções ambientais, sociais e econômicas como já exposto. Como uma das consequências têm sido preferidos os estudos nas escalas de semidetalhe e detalhe, principalmente quando se trata de interesse das relações entre solos e relevo nas paisagens.

A seguir são caracterizadas as sucessivas abordagens nos estudos das relações entre solo e relevo em três fases: a inicial (século XIX), a da inovação teórica e metodológica (século XX) e a recente (desde final do Século XX).

A GEOGRAFIA DO SOLO, A PAISAGEM E O RELEVO: A FASE INICIAL

Os estudos sobre as relações entre solo e paisagem iniciaram-se de modo mais sistemático no final do século XIX, na antiga Rússia, no contexto da Geografia do Solo e da Pedologia, conforme conceitos e métodos estabelecidos por Dokuchaev (1897 a, b), seu precursor. A Pedologia tinha (e ainda tem) por objetivo estudar os solos quanto à sua morfologia, formação e evolução, considerando seus cinco fatores de formação (material de origem, relevo, clima, organismos e tempo), com base em perfis verticais de solo. A Geografia do Solo inicialmente tinha por objetivo estudar a distribuição espacial dos solos na superfície terrestre e o fazia em duas escalas, a continental ou zonal e a da paisagem ou local, com base na correlação espacial dos componentes da superfície terrestre correspondentes aos referidos cinco fatores de formação dos solos, visando a cartografia. Na escala zonal a explicação das relações derivava do princípio da zonalidade dos processos de formação dos solos induzidos pelo clima e os grandes biomas associados, o fator bioclimático, denominando os solos como zonais; e na escala local destacava-se mais os condicionantes relevo e material de origem dos solos para explicar sua distribuição, geralmente conhecidos como intrazonais.

Ainda na escala zonal, a distribuição dos solos revelava um padrão espacial, grosso modo, latitudinal, concordante com a disposição dos maiores Biomas e climas, sobretudo no hemisfério Norte, com maior massa continental. Na escala local ou da paisagem, os solos podiam variar mais do que na escala zonal, devido a inúmeras variações na topografia dos terrenos associada a um determinado tipo de relevo e a litologia que constituía o seu material de origem, que se tornavam fatores relevantes para explicar suas

características expressas nos perfis de solo, pois que as condições bioclimáticas globais eram bastante modificadas por influência desses fatores locais.

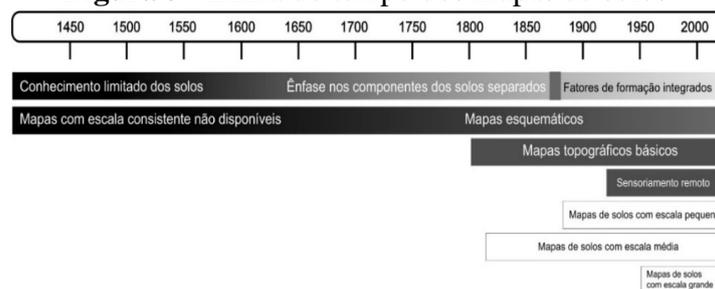
A Geografia do Solo praticamente manteve o mesmo objetivo, desde seu início no século XIX, quando a Ciência do Solo e a Geografia se estabeleceram como campos de pesquisa científica, qual seja, entender a distribuição espacial dos solos na superfície terrestre emersa, envolvendo aspectos teóricos e metodológicos. Os mapas e dados produzidos podiam ser utilizados principalmente para o conhecimento geral dos solos no planeta, mas também para abastecer sua taxonomia e instruir o planejamento do uso e manejo do solo, com foco, sobretudo, agrônômico (BRIDGES, 1981). Só mais tarde é que passou a ser considerada como uma disciplina que agregava também o estudo das causas da distribuição espacial dos solos e a incluir sua relação com os seres humanos (RODRIGO-COMINO et al, 2018).

Miller & Schaetzl (2015) ressaltam que os princípios da Geografia do Solo enfatizam a dependência da evolução histórica dos conceitos de solo e de paisagem em que se enquadram, bem como da escala e do objetivo do mapa. Miller et al (2019) defendem que corresponde, na atualidade e fundamentalmente, ao estudo dos padrões espaciais e funcionais dos solos, em termos de suas propriedades e dos processos que produziram esses padrões. Para estes autores a Geografia do Solo e a Ciência do Solo têm muito em comum, sendo uma dessas semelhanças as suas origens de inventário de recursos naturais, essenciais para tratar questões ambientais importantes, além de compartilharem abordagem claramente interdisciplinar por suas naturezas.

Em suma, os padrões de distribuição espacial dos solos na escala da paisagem atualmente poderiam ser considerados como o objeto *s.s.* de estudo da Geografia do Solo, incluindo suas causas com base nas propriedades dos solos e nos processos que lhes deram origem, os quais resultam de sua evolução num determinado lugar, numa posição topográfica em seu contexto geomorfológico e climático próprios, sobre um dado material de origem, sob uma cobertura específica e desde quando. Em outras palavras, a escala do estudo é fundamental para entender as relações entre solo e paisagem e entre solo e relevo (NAKASHIMA et al, 2017).

Os mapas de solos e suas respectivas escalas evoluíram bastante ao longo do tempo, das globais às médias e destas às locais, grosso modo, desde a década de 1950, em função dos avanços no conhecimento dos solos e da tecnologia de cada época (MILLER e SCHAETZL, 2016), como mostra a Figura 3. Imagens digitais de satélites com resoluções crescentes e programas geoespaciais e geoestatísticos, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), vêm contribuindo largamente para incrementar a cartografia de solos, aplicada principalmente na produção de indicadores geoespaciais, na forma de métricas, quanto às propriedades dos solos e suas relações com o relevo e o uso e manejo dos solos, visando, com frequência, a produção agrícola e, ou pecuária e, ou florestal, e mais recentemente de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).

Figura 3 - Linha do tempo dos mapas de solos.



Fonte: Adaptada de MILLER e SCHAETZL, 2016 por CASTRO, ALVES E OLIVEIRA, 2021.

Com certeza esse refinamento de escala também deriva de uma demanda crescente de controle preventivo e corretivo de impactos ambientais, geralmente limitantes da produção/produktividade agrícola (por exemplo de alimentos, fibras e combustíveis), pastoril (por exemplo de carne, leite, couro, ossos) e florestal (por exemplo de alimentos, fibras, madeira, fármacos), do controle da emissão de gases de efeito estufa (GEE) (por exemplo com agricultura de baixo carbono), da prospecção mineral (indicadores de minerais no subsolo), das grandes obras (por exemplo de reservatórios, estradas, aeroportos, pontes e viadutos, grandes edificações, distritos industriais), dos movimentos de massa (por exemplo, escorregamentos, corridas de lama e outros) e mesmo da expansão urbana (aptidão para loteamentos residenciais, institucionais e para distritos industriais), entre outras.

Castro, Alves e Oliveira (2021) lembram que no início do século XX, quando as grandes mudanças conceituais e metodológicas começaram a acontecer, Kellogg (1937), já considerava que mapear e explicar o solo na paisagem, espacial e funcionalmente, era um pressuposto da moderna Ciência do Solo, bem como da Geografia Física e da Ecologia da Paisagem. Desde então essa ideia se consolidou, portanto, trata-se muito mais uma questão metodológica alinhada aos objetivos dos estudos, mas, que certamente apontam para uma abordagem cada vez mais multiescalar e multiproxy.

Quanto às relações entre solo e relevo, convém destacar que um dos principais paradigmas reinantes desde praticamente a primeira metade do século XX, e que se expressa nas diversas abordagens nos estudos que se seguiram, é o que admite que as diferentes feições da superfície terrestre caracterizadas pelo seu relevo, em várias escalas, provocam variações na distribuição dos solos e na interpretação dos seus atributos e propriedades, cujas magnitudes são diferenciadas e delas dependentes (MULLA E MCBRATNEY 1999; NAKASHIMA et al, 2017; PARK E BURT 2002; QUEIROZ NETO 2000, 2011; ROSS 2010; SCHOORL et al., 2000; SOUZA, 2015; YOUNG E HAMMER 2000). Resumindo as palavras de Schaetzl e Anderson (2005), os solos se formam em superfícies terrestres e estas definem o solo.

Quanto ao conceito de paisagem, dada a multiplicidade de tratamento em diversas disciplinas, não será aqui detalhadamente apresentado. Além disso, há quem discorde da ideia de que a paisagem obedeça a uma escala intrínseca (NAKASHIMA et al, 2017). Mas, concordando com Antrop (2000), que resume esses conceitos emitidos por várias ciências, é possível destacar três aspectos comuns à maioria deles: (1) a paisagem é uma entidade ou fenômeno holístico; (2) é uma parte da Terra que é percebida e, portanto, relativa ao observador na sua compreensão e avaliação; e (3) é um fenômeno dinâmico com uma história única. Barbosa e Gonçalves (2014), os associam a três significados: 1) corresponde ao arranjo fisionômico das características biofísicas e humanas de uma determinada área; 2) envolve a extensão de um terreno perceptível a partir de um lugar determinado; 3) pressupõe uma percepção subjetiva e sua representação por um quadro ou fotografia, cenário ou cena. Entretanto, ao menos desde os anos 70 do século passado, em Pedologia paisagem é frequentemente considerada como uma coleção ou conjunto espacialmente adjacente de formas de relevo que podem ser observadas em uma única visada ou de um determinado ponto (RUHE, 1956; 1975). De acordo com essa área do conhecimento, paisagem vem sendo considerada como sinônimo de relevo, dada sua inegável e crescente constatação de correlação com as geoformas. Como lembram Campos, Cardoso e Marques (2006) e Campos (2012), a paisagem comumente contém variabilidade espacial de solos, produto das relações destes com as geoformas ou domínios de geoformas.

Completando a discussão sobre paisagem, há dois sentidos importantes para a formação dos seus diversos conceitos: (a) o sentido objetivo - ligado aos aspectos concretos do meio ambiente, o da descrição das formas e funções dos objetos e sua fisionomia; a apreensão visual de formas e passíveis de descrição fisiológica; mais ligado à ciência; (b) o sentido subjetivo - ligado à percepção, à abstração do arranjo ambiental ou de parte dele, pelo sujeito; a apreensão e a descrição dos objetos da paisagem dependem da subjetividade do sujeito, da sua formação cultural e social; perspectiva mais artística e literária, mais ligada à pedagogia (BARBOSA & GONÇALVES, 2014). Em Pedologia predominaria o primeiro, o sentido objetivo, como se pode reconhecer no conceito de paisagem já exposto por Ruhe (1956).

É oportuno esclarecer que, como no estudo dos solos, no estudo da paisagem também se considera dois aspectos importantes, o morfológico e o funcional. O morfológico refere-se à identificação, enumeração, descrição e discussão das suas formas e o funcional, diz respeito à interação e dinâmica dos elementos que a compõem e condicionam seu funcionamento (BARBOSA & GONÇALVES, 2013). No morfológico os perfis de solo com seus horizontes e o relevo são descritores relevantes das paisagens e no funcional a dinâmica físico-hídrica, geoquímica e mineralógica são indicadores da pedogênese e relações com a morfogênese da paisagem.

No aspecto morfológico, os indicadores topográficos primários (ITP) e mesmo os secundários (ITS) podem ser considerados como variáveis de caracterização tanto das paisagens como dos solos, isto é, podem se tornar parâmetros descritores da paisagem e podem subsidiar a elaboração de modelos espaciais subsidiários da explicação das relações entre solo e demais componentes da paisagem, sobretudo os modelos de base física, os mais utilizados. Cabe esclarecer que os solos estão presentes sobretudo no aspecto morfológico da paisagem, para alguns como pedoformas que em termos topográficos podem ser convexas, côncavas, retilíneas ou planas, com fluxos hídricos convergentes ou divergentes (CURI, 1993; IPPOLITI et al., 2005), e mais recentemente, para outros, como geomorfons (JASIEWICZ e STEPINSKI, 2013), que são padrões espaciais de pedoformas que caracterizam uma dada paisagem, e podem ser principalmente de dez tipos: Plano, Pico, Crista, Ombro, Espigão, Vertente (ou Encosta), Cabeceira, Vale, Fundo de vale, Abismo. E, também, porque, ao mesmo tempo, resultam da relação dos condicionantes da distribuição espacial e comportamento e evolução dos solos. É o que se denomina de coevolução solo x relevo (LIN, 2011) ou, no Brasil, *evolução solidária* (QUEIROZ NETO, 2002, 2010, 2011).

Em função do exposto, vários modelos surgiram visando entender as relações intrínsecas entre as características e condições do solo e a topografia, como os modelos de superfícies geomórficas, de unidades de paisagem, de vertentes e de curvaturas dos terrenos. Aliás, de certo modo esse pensamento já estava relativamente implícito nas ideias de Dokuchaev, no século XIX, de modo ainda pouco trabalhado, mas que só foi perfilhado e desenvolvido pelos vários pesquisadores no século XX, embora com nuances e interpretações variadas. E que os conceitos de solo e de paisagem foram relativamente resolvidos em separado, pela Pedologia e Geomorfologia de um lado e pela Geografia, em especial a Geografia Física e a Ecologia da Paisagem de outro e que, muito embora as classificações taxonômicas existam em Pedologia e em Geomorfologia, as interrelações entre solo e relevo ainda carecem de uma sistematização mais universal.

Assim, os estudos das relações solo e relevo vem sendo feitos com diferentes abordagens e recortes espaciais/escalares, bem como apoiados em protocolos metodológicos distintos. Em consequência, no século XX, deu-se uma proliferação de termos para os estudos de relações entre solo e relevo, muitas vezes com superposições e

muitos deles empregados como sinônimos, mas que podem não ser, necessariamente (CASTRO, ALVES, OLIVEIRA, 2021). E, não raro, tratando-a como relações entre Pedologia e Geomorfologia, quando de fato, em muitos casos seriam relações entre os objetos de estudo dessas ciências.

Resumidamente, as novas nomenclaturas de estudo das relações entre solo e relevo foram: Catena (MILNE, 1935), Topossequência (JENNY, 1946); Geopedologia (PRINCIPI 1952; POUQUET 1966); Geomorfologia do solo ou Pedogeomorfologia (DANIELS et al. 1971; CONACHER e DALRYMPLE 1977; DALRYMPLE, BOLD, CONACHER, 1978); Solos e Geomorfologia (BIRKELAND 1974, 1990, 1999; RICHARDS et al. 1985; JUNGRIUS 1985a, b); Pedologia e Geomorfologia (TRICART 1962, 1965a, b; TRICART 1968, 1972; HALL 1983); Morfopedologia (KILIAN 1974; TRICART e KILIAN 1979) e Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOCQUIER, 1971; BOULET, 1978; BOULET et al, 1982,a,b,c).

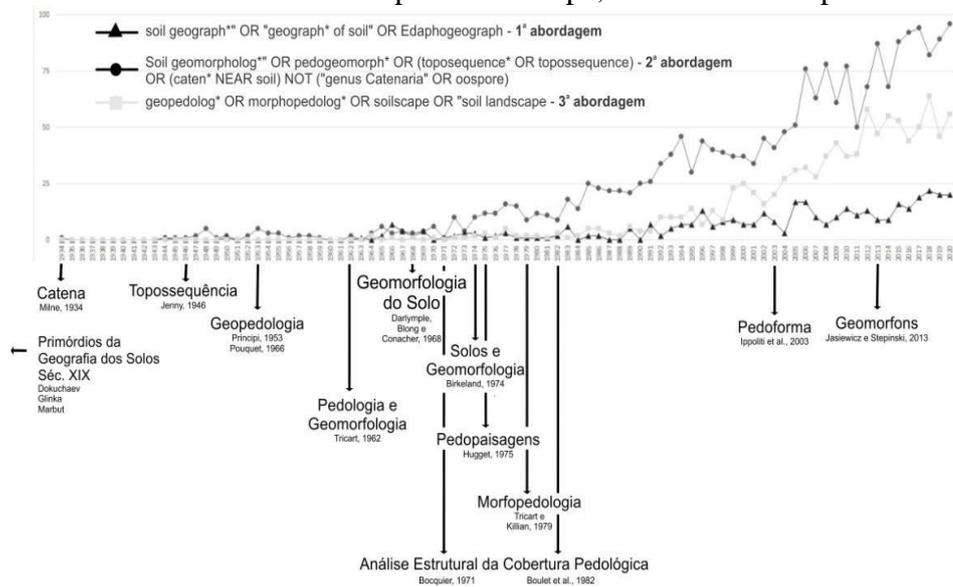
Uma análise bibliométrica realizada por Castro, Alves e Oliveira (2021) com base na *Web of Science*, utilizando termos comumente adotados como palavras-chave nos artigos nela publicados, envolvendo solo, paisagem e relevo e respectivas correlações, permite seu agrupamento em três períodos, a saber: (a) como Catena, Topossequência e Conjuntos de Catenas; (b) como Geomorfologia do solo (*Soil Geomorphology*) ou Pedogeomorfologia aperfeiçoando Topossequências ou Catenas; (c) como Geopedologia (contração de Geomorfopedologia) ou Morfopedologia ou Solo e Paisagem (*Soil Landscape* ou sua contração *Soilscape*), todos como base para cartografia de solos; ou como Geografia do Solo ou Edafogeografia valorizando a distribuição espacial de solos e suas relações com o uso e a cobertura vegetal. Foi no século XX que a maioria desses termos surgiu, estimulados pelas ideias de Catena de Milne (1935) e de Topossequência sistematizada por Jenny (1946), como já haviam ressaltado Queiroz Neto (2000, 2010, 2011), Espíndola (2010), Rubira et al (2019) e Castro, Alves e Oliveira, (2021), entre outros.

A Figura 4, extraída de Castro, Alves e Oliveira (2021) quantifica os artigos científicos contidos na *Web of Science* com base nas palavras-chave (obrigatoriamente em inglês): *Catena*, *Toposequence*, *Soil Geography*, *Edafogeography*, *Soil Geomorphology*, *Pedogeomorphology*, *Soil Landscape* ou *Soilscape* e assinalando seu principal autor, no período entre 1930 (quando surgiu a catena) e 2020.

Com base nos gráficos da Figura 4 pode-se perceber dois termos que nas décadas de 30 e 40 deram início, aos estudos das relações solo e relevo, a Catena e Topossequência, seguidos de Geopedologia no começo dos anos 50. Daí em diante, constata-se uma proliferação de termos relativos a estudo do solo e relevo entre a década de 1950 e a de 1980, seguidos de um crescimento notável de publicações a partir da década de 1980 nos três grupos de palavras-chave, e que apenas dois termos novos surgiram, pedoforma de geomorfon. Nessa fase constata-se o maior número de artigos em *Soil Geography* (*Geografia do solo*), considerados como a 1ª. abordagem, seguidos de Geopedology/Morphopedology/Soilscape (Geopedologia/Morfopedologia/ Solo Paisagem) como 2ª abordagem e por fim, em menor número os artigos em *Soil Geomorphology* (*Geomorfologia do solo*), *Toposequence/Catena* (*Topossequência/Catena*), como 3ª. abordagem. Tal comportamento pode refletir o maior interesse espacial proporcionado pela Geografia do Solo, seguido pelo de Cartografia dos Solos e suas interrelações, ambos favorecidos pelas geotecnologias espaciais digitais das últimas décadas, em espacial de sensoriamento remoto e proximal, como as próprias da Geopedologia, da Morfopedologia e de Solo e Paisagem/Pedopaisagem, na busca de

padrões espaciais e comportamentais e, por fim, o interesse em topossequências/catenas, supostamente residual. As diferenças entre essas abordagens são tratadas a seguir.

Figura 4 - Quantidade de artigos sobre Soil Geography, Soil Geomorphology e similares e Soil Landscape ou Soilscape, em linha do tempo.



Fonte: CASTRO, ALVES, OLIVEIRA, 2021.

OS ESTUDOS DAS RELAÇÕES SOLO E RELEVO NO SÉCULO XX– A FASE 2: A INOVAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA

Uma verdadeira revolução teórico-metodológica no estudo das relações entre solo e relevo deu-se no século XX, vinculadamente à inovação no procedimento de estudo da variabilidade lateral dos solos em escala local, iniciados nos anos 30 com Milne (1935, 1936), ao estudar a sucessão lateral de solos ao longo das vertentes, denominados de catenas (cadeias) de solos, portanto valorizando a escala local e não mais a zonal (WYSOCKI et al, 2010; MILLER et al, 2019; RODRIGO-COMINO et al, 2017; QUEIROZ NETO, 2001, 2010, 2011; NAKASHIMA et al, 2017; RUBIRA et al, 2019; CASTRO, ALVES, OLIVEIRA, 2021).

Esse entendimento tornou possível introduzir mudanças de paradigmas na concepção de solo e de movimentos de matéria e energia associadamente às leis da termodinâmica, bem como compreender melhor a pedogênese e a geoquímica e a mineralogia associadas e desenvolver modelos de padrões espaciais, com base nas pedoformas. A seguir destaca-se o que, se pode dizer, se configurou como os novos pressupostos aqui considerados como os mais relevantes dessa revolução.

- Primeiro pressuposto: o reconhecimento da lateralidade dos solos nas paisagens

Foi nos anos 30 do século XX que a variabilidade lateral dos solos na escala local foi descoberta, reconhecida como uma sucessão lateral de solos ao longo das unidades elementares do relevo, genericamente entendidas como vertentes (DOSSO & RUELLAN, 1993; RUELLAN & DOSSO, 1993; ESPÍNDOLA, 2010; NAKASHIMA et al 2017; QUEIROZ NETO, 2000, 2010, 2011; RUBIRA et al, 2019; CASTRO, ALVES E OLIVEIRA, 2021). Atualmente as vertentes podem ser definidas a partir de ITP como o

declive, o desnível, a forma ou curvatura e a extensão da superfície entre o topo dos interflúvios e os fundos de vale, que passaram a ser reconhecidos e incorporados pouco a pouco nos estudos em Pedologia, sobretudo em gênese, morfologia e classificação de solos (RUELLAN, 1985; PENNOCK, 2003; PENNOCK e VELDKAMP, 2006; MINELLA & MERTEN, 2017; PHILLIPS, 2019).

A lateralidade dos solos valorizou sobretudo as combinações de solos ao longo das vertentes, hoje ditas sequência ou sucessão lateral de solos. Essa descoberta começou a se desenvolver na Grã-Bretanha (MILNE, 1935, 1936, 1947) com a proposta das catenas e seu mapeamento; na França (LAFFORGUE et al., 1936) com as cadeias de solos, sua importância cartográfica e os elos genéticos de suas componentes e nos EUA, com Kellogg (1938), influenciado por Marbut com as associações de solo como unidades cartográficas e Bushnell (1942), com o questionamento das noções de catena. Porém as catenas suscitaram muita discussão, principalmente devido dois aspectos, não se repetiam fora das regiões tropicais onde foram estudadas por Milne, e não respondiam por toda a sucessão lateral de solos (WYSOCKI et al, 2010; MILLER et al, 2019).

Milne (1935, 1936), o precursor da descoberta da lateralidade, ao empreender os estudos na África, as associou inicialmente aos processos de erosão e sedimentação, com ou sem variação no material de origem, atribuindo a mobilidade lateral de materiais como promotora da diferenciação dos solos ao longo do declive (WYSOCKI et al, 2010), ainda que posteriormente tenha acatado outros efeitos (MILLER et al, 2019), como o da circulação hídrica lateralizada e sua influência na pedogênese, como defendida por Bushnell (1942, 1944) e Greene (1945, 1947). Bushnell (1942, 1944), por exemplo, diferentemente de Milne, defendia o pressuposto de que haveria filiação genética entre os solos ao longo das vertentes, independentemente do material de origem, por efeito inequívoco da circulação hídrica interna, vertical e lateral, condicionada pela topografia. Por seu turno e pelas discussões suscitadas sobre o termo catena, o próprio Milne (1947) acabou por rever a definição de catena, considerando-a como uma repetição regular de perfis de solo em associação com uma determinada topografia. Boulet et al (1982 a) definiram topossequência como a seção longitudinal de solos ao longo dos interflúvios (do topo ao fundo de vale), obtida através de observação de perfis verticais de solos alinhados em eixo topográfico perpendicular às curvas de nível, cuja representação se dá em *continuum*. Nesse sentido, a nova definição de catena (MILNE, 1947) e a de topossequência (BOULET et al, 1982 a) podem ser consideradas sinônimos. Todavia, ainda permanece a discussão e muitos preferem denominá-las como pedossequências num sentido mais genérico e menos genético. Outros admitem formas mistas como topossequência e assim por diante.

A partir da década de 30 surgiram novas nomenclaturas para contemplar as abordagens e protocolos de levantamento de solos, além de alguma sistematização, por meio de novas terminologias para os vários tipos de sucessões laterais, como litossequência, topossequência, cronossequência e biossequência, entre outras, cujo prefixo valoriza se principal fator de formação, e que foram devidamente contemplados pelas respectivas equações propostas por Jenny (1946). Desse modo, os processos de pedogênese se revelaram mais claramente entre os anos 50 e 80, incluindo a lateralidade e amparados por estudos geoquímicos e mineralógicos, não raro por micromorfologia e ultramicroscopia de solos (BOCQUIER, 1984; MILLER et al, 2019), que igualmente reforçaram o solo como fator de formação do relevo. A ideia de variabilidade lateral de solos nas paisagens tornou-se crescentemente divorciada do princípio da zonalidade dos solos, proposta por Dokuchaev, até mesmo negando-a.

Outra questão de fundo mereceu destaque e recebeu propostas diversas, que dizia respeito à continuidade dos solos na superfície terrestre. Passou-se a considerar o solo como uma cobertura em *continuum* na crosta terrestre emersa. Inicialmente denominada de *manto de solo* (FRIDLAND, 1976), que configura uma *Struktura* (sic) configurada pelos horizontes pedológicos, logo após de *cobertura de solo* (HOLE & CAMPBELL, 1985) que configura *corpos de solo e corpos associados de não-solo*, fruto de arranjos específicos de horizontes e sua extensão geográfica, e, finalmente, de *cobertura pedológica* (BOULAINÉ, 1978; BOULET et al, 1982 a, b; RUELLAN, 1985; BAIZE, 1986; DOSSO & RUELLAN, 1993), que defende a ideia do *continuum* do solo, tornando cada vez mais difícil aceitar corpo de solo, pedon e polipedons como entidades pedológicas. Ruellan (1985) chega até mesmo a explicitar que sendo o solo um meio contínuo é artificial continuar a individualizar unidades definidas por um perfil vertical com o fim de caracterizar, classificar, mapear. Segundo ele, o indivíduo-solo, equivalente a indivíduo animal ou indivíduo vegetal não existe no mesmo nível. Todavia, essas três denominações do *continuum* de solo (*manto de solo*, *cobertura de solo* e *cobertura pedológica*) compartilham da concepção de sua organização interna própria na forma de um arranjo espacial mais ou menos regular de horizontes superpostos e justapostos.

Mais tarde, Boulet et al (1984, 1990) acrescentam que no interior podem se desenvolver *sistemas pedológicos*, podendo ser de *transformação vertical* (da rocha em solo em relevos suaves e planos) e de *transformação lateral* (de um solo ou horizonte em outro, lateralmente associado à circulação hídrica interna, vertical e, sobretudo, lateral em relevos mais movimentados), acompanhados de uma espécie de classificação em primeira aproximação. Sintetizando Soubiès & Chauvel (1983), *sistema pedológico* corresponde a uma sucessão lateral e vertical de diferentes horizontes que se superpõem, justapõem ou até mesmo se superimpõem ao longo da vertente de um dado compartimento geomorfológico, condicionados pela topografia. Portanto, se aplicaria mais ao *sistema de transformação lateral*, mas há quem use essa denominação indistintamente para qualquer morfologia e pedogênese em topossequência.

Por fim, a reconhecida variabilidade espacial dos solos nas paisagens levou McBratney (1992) a criar o termo Pedodiversidade, emprestando o mesmo sentido e metodologia de estudo de Biodiversidade, e que corresponde ao inventário da variedade de entidades pedológicas distintas, ou seja, pedotaxa e horizontes pedogenéticos, bem como a análise de seus padrões espaciais e temporais (IBÁÑEZ et al. 1990, 1994).

- Segundo pressuposto: os métodos de estudo das relações solo e relevo mudaram de escala e protocolos no século XX

Em termos da análise e interpretação das relações entre solo e relevo empreendidas no século XX propõe-se aqui agrupá-las preliminarmente em três métodos de estudo em função dos seus produtos:

- (a) *Geoespaciais ou geocartográficas* (em mapas): agrupando a Geopedologia, a Pedologia e Geomorfologia e a Morfopedologia;
- (b) *Geodinâmicas* com base em sequências *pedomorfológicas* (seções de superfícies geomórficas escalonadas, ou catenas/topossequências das vertentes de unidades elementares do relevo): agrupando a Geomorfologia do Solo (Pedogeomorfologia) e Solo e Geomorfologia;
- (c) *Mista*: Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (em mapas e em seções de vertentes) – agrupando a Análise Bidimensional ou Pedomorfológica que é expressa

em topossequência e Análise Tridimensional ou cartográfica que é expressa na forma de *mapa de isodiferenciação*, que apresenta linhas que indicam o aparecimento/desaparecimento de horizontes, projetadas no plano.

Antes de avançar, é necessário distinguir os termos cada vez mais usados em Pedologia no estudo das relações entre solo e relevo neste século, mesmo que alguns sejam discutíveis. São eles: *geoforma* – como toda e qualquer forma da superfície terrestre resultante de processos geológico-geomorfológicos (MANOSO et al, 2010); *relevo* - como um padrão de geoformas resultante de uma combinação particular de topografia e estrutura geológica (exemplo, relevo da cuesta), normalmente controlado por geodinâmica interna (ZINCK, 1988); e *modelado* (tradução da palavra francesa *modelé*) – como geoforma determinada por condições morfoclimáticas específicas ou processos morfogenéticos (exemplos: pedimento, terraço, delta), amplamente controlado por geodinâmica externa (ZINCK, 1988). E os termos: *Pedofорма* (CURI, 1993; IPOLLITI et al, 2003) - forma do terreno em que embaixo ocorre um tipo de solo, sendo caracterizada por sua curvatura, podendo ser convexa, côncava ou retilínea, e a direção preferencial dos fluxos hídricos, podendo ser convergente ou divergente; *Pedopaisagem* (HUGGETT, 1975) como paisagem associada a um tipo de solo; *Pedomorfons* - padrões espaciais de solo e relevo e *Geomorfons*, padrões geomórficos de pedofórmicas, compondo 10 principais modelos 3D de unidades elementares do relevo: pico, crista, ombro, escarpa, vertente, sopé, cabeceira, vale, fundo de vale, abismo (JASIEVICS & STAMPINSKI, 2013), podendo receber denominações equivalentes.

AS DIFERENTES ABORDAGENS NOS ESTUDOS DAS RELAÇÕES SOLO E RELEVO NO SÉCULO XX

Foram três tipos principais de abordagens: geoespaciais ou cartográficas, geodinâmicas ou funcionais, e mista, como já exposto.

- AS ABORDAGENS GEOESPACIAIS OU CARTOGRÁFICAS

Trata-se de abordagens voltadas ao mapeamento (cartografia), seja de solos, seja de padrões espaciais das relações entre solos e outros componentes da superfície terrestre, em especial com o relevo. Destacam-se: a *Geopedologia* (das unidades geopedológicas), a *Morfopedologia* (dos Compartimentos morfopedológicos) e a das *Pedopaisagens*.

- A Geopedologia

A denominação *Geopedologia* foi proposta por Principi (1952) na Itália, como o estudo do terreno, ou *Geologia Pedológica*. Corresponde à contração de *Geomorfopedologia*, em que o prefixo *Geo* se refere à superfície da terra - a *Geoderma*, e, como tal, abrange conceitos e métodos da *Geologia* e da *Geografia*, sobretudo da *Geografia Física*. Foi aperfeiçoada por Pouquet (1966) na França aplicada aos estudos de erosão e conservação de solos.

Como lembra Salomão (1984), as *Cartas Geopedológicas* representam unidades relativamente homogêneas de integração entre o substrato geológico, as formas e feições de relevo e os tipos pedológicos, denominadas de unidades geopedológicas, sendo destinadas principalmente à interpretação do comportamento geotécnico dos terrenos visando subsidiar a elaboração de *Carta Geotécnica*. Portanto, as unidades

geopedológicas são mais abrangentes do que unidades de solos dos mapas pedológicos convencionais, uma vez que também contêm informações sobre o contexto geomórfico em que os solos se encontram e se desenvolveram.

A Geopedologia ao auxiliar no inventário da distribuição espacial dos solos de acordo com os seus fatores de formação, com ênfase na Geomorfologia, valoriza fortemente a influência do relevo na estrutura física de formação dos solos, além da morfodinâmica da superfície, associada ao contexto morfoclimático e do material inconsolidado resistente, que serve de material de origem dos solos (ZINCK 2012; ZINCK et al, 2016).

Portanto, seu foco principal está na formação, evolução, distribuição e cartografia dos solos, com contribuição relevante da Geomorfologia. Para tanto, baseia-se em indicadores, sobretudo topográficos e do material de origem, podendo subdividir-se em dois ramos: (1) acadêmico, aplicado à investigação dos processos que ocorrem na relação relevo x solo, sobretudo em vertentes, que oferecem condições propícias para estudos em toposseqüência (ou catena) e cronosseqüência (PRINCIPI, 1952); (2) prático, aplicado ao levantamento de solo e respectiva cartografia, que se desenvolveu mais em ambientes deposicionais, paisagens relativamente planas, com condições adequadas para o uso de solos para agricultura ou engenharia (POUQUET, 1966).

A Geopedologia ao integrar a Geomorfologia e a Pedologia baseia-se na análise das relações solo e paisagem, ao reconhecer a Paisagem do solo (*Soil Landscape* ou sua contração *Soilscape*) (BUOL et al. 1973), em português Pedopaisagem, paisagem típica de um dado tipo ou classe de solo ou associação de solos. Nesse sentido, a paisagem é basicamente de natureza geomórfica, o que se reflete na legenda do mapa geopedológico, ao combinar geoformas como entradas para a legenda e pedotaxa como componentes. Assim, a Geomorfologia fornece os contornos das unidades do mapa, ou seja, o *contêiner* (as formas) enquanto a Pedologia fornece seus componentes taxonômicos, ou seja, o *conteúdo* (os solos). Portanto, é uma abordagem metodológica para inventário do solo, que fornece uma estrutura para análise geográfica dos seus padrões de distribuição espacial com base nas relações conceituais entre geoforma e solo que ocorre na interface epidérmica da Terra. Considera a paisagem geopedológica como tridimensional e é operacional, principalmente no âmbito do inventário do solo, que pode ser representado por um esquema hierárquico de atividades.

Segundo Zinck et al. (2016), o mapeamento geopedológico enfatiza a leitura da paisagem no campo e em documentos de sensoriamento remoto para identificar e classificar geoformas, como um prelúdio para seu mapeamento dos solos subjacentes às geoformas e a interpretação das relações genéticas entre estas e os solos correlativos. Baseia-se no princípio de desenvolvimento paralelo (coevolução) (HALL, 1983) ou *evolução solidária* (QUEIROZ NETO 2000, 2010, 2011). Combina critérios pedológicos e geomórficos para estabelecer unidades cartográficas de solos e analisar sua distribuição na paisagem, as unidades geopedológicas.

Em síntese, a Geopedologia é uma abordagem geocartográfica na medida em que dá ênfase ao mapeamento da pedopaisagem a partir da identificação e classificação das geoformas e sua expressão espacial (extensão geográfica), como um prelúdio para o mapeamento dos solos, envolvendo a interpretação das relações genéticas entre solos e geoformas (ZINCK & VALENZUELA, 1990).

- A Morfopedologia

Tricart & Kilian (1978) foram os proponentes de Cartografia Morfopedológica que objetiva identificar e caracterizar porções do território onde coexistem determinadas unidades geomorfológicas e solos associados, caracterizados a partir de processos complexos de morfogênese e pedogênese, relacionados uns aos outros. Portanto, baseia-se na identificação e delimitação de unidades espaciais (ou de paisagem), as quais, fundamentalmente, são unidades produzidas pelas relações entre substrato, relevo e solos numa mesma escala, idealmente média ou grande, que representam padrões de configurações de geoformas e solos associados, desenvolvidos sobre um determinado substrato de uma determinada área. Essas unidades espaciais são conhecidas como Compartimentos Morfopedológicos (CASTRO & SALOMÃO, 2000), no Brasil frequentemente identificados como CM ou CMP nas legendas dos mapas morfopedológicos resultantes da correlação entre substrato, relevo e solo.

O reconhecimento dos CMP baseia-se na correlação espacial por superposição de *layers* da geologia/litologia, da geomorfologia (por exemplo: superfícies geomórficas, hipsometria, declividade e eventualmente curvaturas e comprimentos de rampa) e da pedologia (mapa de solos convencional) de uma bacia ou território desejado, com auxílio de SIG. Cada CM ou CMP corresponde a um polígono no mapa cuja legenda inclui denominações de identificação, podendo ser numéricas ou de toponímia, com características geológicas, geomorfológicas e pedológicas que a distinguem das vizinhas, de maneira sintética. Quando necessário, a legenda pode ser apresentada na forma de um quadro ou tabela no próprio mapa, em cujas colunas entram a localização, a área em Km² e em percentagem em relação à área total mapeada, os descritores do meio físico e eventualmente algum fenômeno relacionado, como por exemplo a quantidade e índices de focos erosivos lineares.

O mapa morfopedológico pode ser correlacionado a outros mapas como de sistemas pedológicos (polígonos representativos dos sistemas de sucessão lateral de solos das geoformas-padrão), do potencial erosivo, da capacidade de uso das terras, ou da aptidão agrícola, de expansão urbana, e outros, visando a identificação de áreas para projetos de uso atual do solo rural ou urbano, ou de discrepâncias entre potencial de uso e uso do solo, de modo a identificar áreas críticas em termos de determinado impacto ambiental. Isto pode conduzir à seleção de um ou mais CMP para fins de aprofundamento dos estudos em escalas de detalhe, bem como monitoramentos, ensaios, experimentação agrônômica e outros. No Brasil, o mapa morfopedológico vem sendo uma ferramenta importante na avaliação agroambiental, geoambiental e geotécnica em geral (CASTRO & SALOMÃO, 2000).

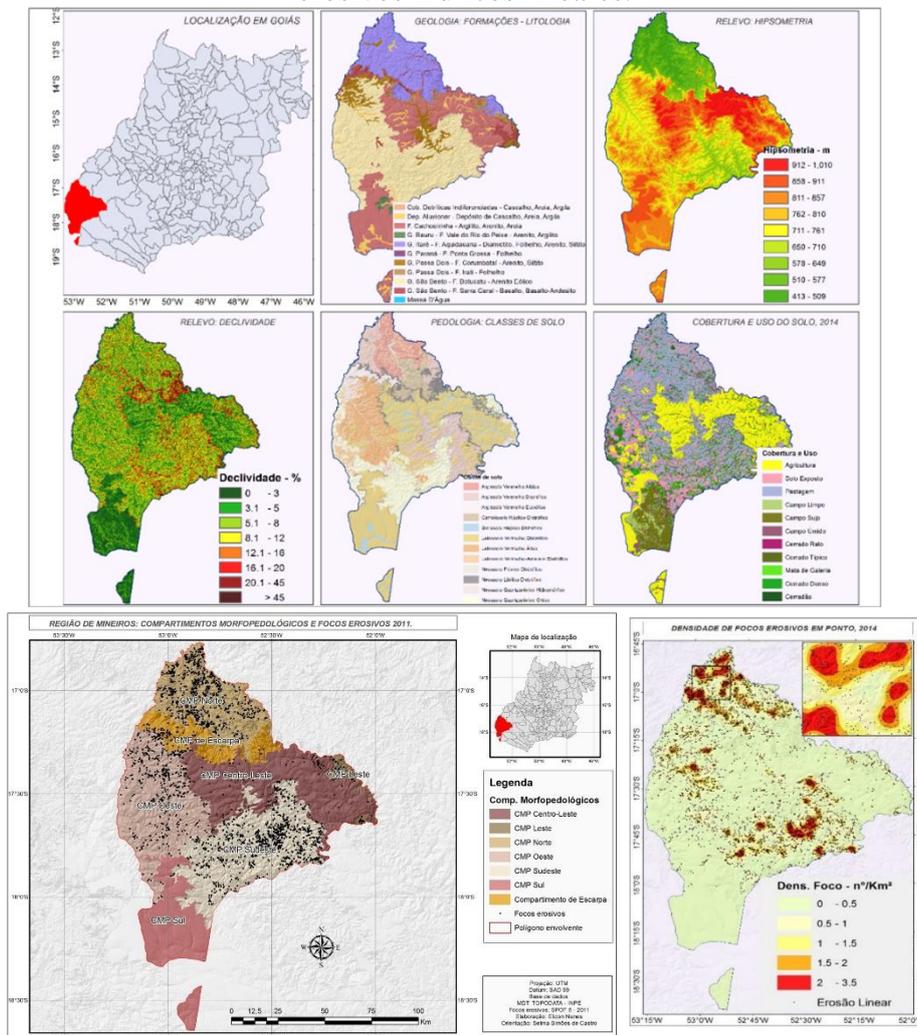
A figura 5 ilustra uma compartimentação morfopedológica para Mineiros e arredores, no estado de Goiás, em área de cuesta e da zona rebaixada pedimentar do seu entorno, desenvolvida sobre litologias arenítico-basálticas da bacia sedimentar do Paraná, elaborado por Nunes & Castro (2015). Nos CMP identificados e representados nessa figura, a partir dos cruzamentos dos mapas do meio físico e sua correlação com o mapa de uso e cobertura pode-se perceber, por um lado, um nítido zoneamento natural que corresponde aos CMP e, por outro, certa correspondência com os usos condicionados pelas respectivas aptidões agrícolas. É possível perceber ainda que os focos erosivos lineares se concentram nos CMP Norte e Sudeste, conforme ilustra o mapa de focos e o de isodensidade de focos, por isso foram considerados como áreas críticas, tendo sido selecionados para estudos de detalhe em bacias hidrográficas de 1^a. e 2^a ordem. Nelas procedeu-se a estudos morfométricos, sobretudo de curvaturas e comprimentos de rampa,

em escala de detalhe, bem como de solos em topossequências representativas das unidades elementares do relevo, de modo a identificar as linhas preferenciais de escoamento superficial e subsuperficial, ou rotas de fluxos, e compará-las com a posição dos focos e respectivas características, inclusive de status atual (ativo, cicatrizado, estabilizado, etc) de modo a estabelecer eventuais correlações (CASTRO, 2005; NUNES & CASTRO, 2021, no prelo).

- As Pedopaisagens, as Pedoformas e os Geomorfons

O termo *Pedopaisagem* (consagrada em inglês *Soil Landscape* ou sua contração *Soilscape*) foi introduzido no âmbito da Pedologia por Buol et al. (1973) e conceitualmente ampliado por Hole (1978). Significa a composição homogênea de solos correspondentes à segmentação de uma paisagem em paisagens de solo (cada tipo de solo tem a sua), geralmente servindo como base para o mapeamento digital de solos.

Figura 5 – Compartimentos Morfopedológicos de Mineiros e arredores (GO) e focos erosivos hídricos lineares.



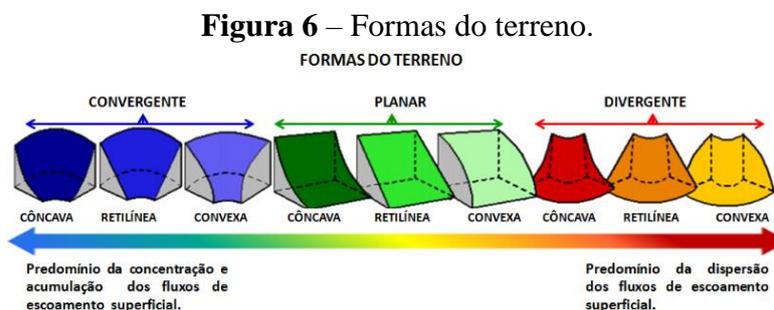
Fonte: Nunes e Castro, 2015.

A Pedopaisagem resulta da interação dos fatores de formação dos solos que configuram padrões do modelado do relevo (geofomas) e solos associados, que se distinguem dos vizinhos. Portanto, uma Pedopaisagem é fortemente marcada pelo relevo

onde se encontra um determinado solo ou combinação de solos, principalmente em sucessão lateral, ou ainda como uma unidade de mapeamento (CURI, 1993). São representadas em mapa na forma de polígonos (manchas) e consideram as propriedades e atributos dos solos que lhe constituem e se expressam nesses polígonos e respectivas legendas e memoriais descritivos. Podem ser reconhecidas e delimitadas pela extensão geográfica da sua fisionomia, seja em imagens de satélite, de radar, de radarsat ou em fotos aéreas ou ortofotos, de média a alta resolução em escalas de cartográficas médias e grandes.

Contudo, também podem ser deduzidas e delimitadas com base nos mapas pedológicos tradicionais, considerando suas legendas e seus memoriais descritivos ou equivalentes, visto que eles contêm todas as informações relevantes sobre cada classe de solo ou unidade de mapeamento. Sua distribuição pode ser correlacionada espacialmente com os mapas de geologia/litologia, de relevo (como os mapas de superfícies geomórficas/geomorfológicas, hipsometria, declividade, curvaturas e outros), de potencial de uso, de discrepância (conflito) de uso, de algum fenômeno específico, como erosão ou outro. Tal correlação serve à interpretação não só da distribuição mas de sua relevância, sobretudo em termos de morfogênese x pedogênese e de uso, manejo e conservação de solos.

A *Pedoforma*, por sua vez, corresponde à topografia externa do terreno de uma dada classe de solo ou unidade de mapeamento, cuja segmentação consiste em um passo importante na obtenção de mapas de solos (CURI, 1993). Tradicionalmente, é entendida como a topografia externa dos denominados corpos de solos, que podem apresentar curvaturas convexas, côncavas, retilíneas ou mistas e em termos de fluxos hídricos serem convergentes ou divergentes (SILVA NETO, 2013). A Figura 6 mostra as formas de terrenos mais conhecidas atualmente e seu potencial de escoamento hídrico superficial.



Fonte: Silva Neto (2013).

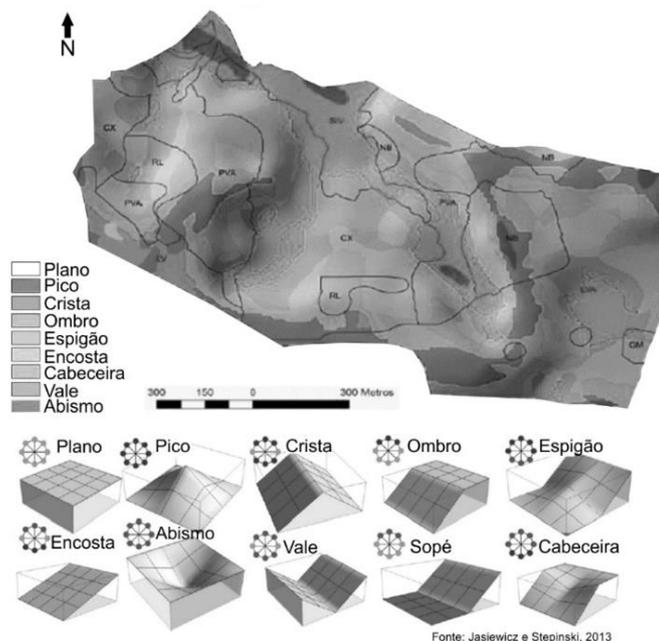
Quanto aos *Geomorfons*, eles se referem a um padrão de pedoforma que corresponde a um algoritmo para identificar e mapear as categorias de pedoformas. Jaziewicz & Stepinski (2013) reconheceram 468 tipos de pedoformas no mundo, independentemente do tamanho, do relevo e da orientação, e selecionaram os 10 mais comuns, denominando-os de geomorfons, os quais são: plano, pico, crista, ombro, contraforte (ou escarpa), vertente, sopé de encosta, cabeceira, vale e fundo de vale (Fig.7). A definição dos geomorfons em cada célula de interesse é determinada pela distância em pixels (raio) a ser considerada.

No Brasil, a título de ilustração, Meneses et al (2015) usaram Modelos Digitais de Elevação (MDE) de 10, 20 e 30 m de resolução para a geração dos Geomorfons com diferentes raios (5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50 células). Em seguida superpuseram o mapa de solos a cada uma das 10 pedoformas que o Geomorfon identificou e calcularam a área de cada solo para cada pedoforma. Assim, com base no teste qui-quadrado a 5% de

probabilidade, verificaram qual desse raios apresentava a melhor relação com as classes de solos. A Figura 6 mostra os 10 principais geomorfons da área que os autores mapearam em área situada entre os municípios de Lavras e Ijaci (MG), como exemplo. Eles redenominaaram os geomorfons.

O mapa da Figura 7 permite constatar que os limites das classes de solos, representados por linhas pretas, não coincidem exatamente com os dos geomorfons representados em tons de cinza. Meneses et al (2015) justificaram essa discordância porque uma mesma classe de solo pode apresentar diferentes pedoformas e consequentemente de geomorfons. Eles consideram ser necessário fazer um agrupamento de diferentes pedoformas para uma mesma classe de solo e ajustar o mapa de geomorfons.

Figura 7 - Geomorfons e limites das classes de solos em área situada entre os municípios de Lavras e Ijaci (MG).



Fonte: Meneses et al, 2015 adap por Castro, Alves e Oliveira, 2021.

Em síntese, trata-se de uma metodologia recente que ainda carece de mais testes para estabelecer limites traduzidos num protocolo para identificar os padrões espaciais.

- As abordagens geodinâmicas, comportamentais ou funcionais

Trata-se de abordagens voltadas ao comportamento morfológico e funcional, geralmente físico-hídrico, vertical e lateralmente, dos sistemas pedológicos correlativos das unidades espaciais que representam as relações entre solos e outros componentes da superfície terrestre, em especial com o relevo. Destacam-se: a Geomorfologia do solo/Pedogeomorfologia, Solos e Geomorfologia e Pedologia-Geomorfologia

- A Geomorfologia do solo/Pedogeomorfologia, Solos e Geomorfologia e Pedologia-Geomorfologia

Como lembra Zinck (2012), os estudos iniciais sob a denominação de Geomorfologia do Solo (mais tarde Pedogeomorfologia), foram propostos por Daniels et al. (1971), seguidos de Conacher e Dalrymple (1977), e retomados bem mais tarde por Mcfadden e Knuepfer (1990); Daniels e Hammer (1992); Gerrard (1992, 1993) e Schaetzl e Anderson (2005). Assemelham-se às abordagens denominadas Solos e Geomorfologia (BIRKELAND 1974, 1990, 1999; RICHARDS et al. 1985; JUNGRIUS 1985A, B) e Pedologia e Geomorfologia (TRICART 1962, 1965a, b, 1972; HALL 1983).

Todos baseiam-se na constatação de que as diferentes feições da superfície terrestre expressas pelo relevo, em várias escalas, promovem variações nos atributos do solo em magnitudes diferenciadas e são delas dependentes. Principalmente, de um local específico da paisagem (SCHOORL et al., 2000; SOUZA, 2015, VIDAL TORRADO, LEPSCH e CASTRO, 2005).

Com esse espírito, vários autores enfatizaram a importância do relevo na formação e distribuição do solo nas paisagens, atribuindo-lhes papéis diversos. Mulla & Mcbratney (1999) e Park & Burt (2002), por exemplo, apontam que os aspectos topográficos do terreno são os mais importantes indicadores da variação das propriedades do solo e que o entendimento do solo como um corpo natural, que possui variação tridimensional e se origina a partir da interrelação dos fatores de formação e sob a ação dos processos pedogenéticos, favorece a compreensão da Geografia dos solos. Com o mesmo espírito, Young & Hammer (2000) afirmam que a compreensão das relações solo e relevo facilita a previsão da ocorrência dos diferentes corpos de solo na paisagem. Ross (2010), por sua vez, defende a ideia de que a compreensão da relação existente entre os solos e o relevo é fundamental para o entendimento da estrutura, funcionamento e evolução da própria paisagem, sendo um princípio básico para compreender a distribuição espacial dos sistemas pedológicos nas unidades de paisagem, dos estudos de gênese, de evolução vertical e espacial e de levantamento e classificação dos solos. Teramoto et al. (2001) chamam a atenção para o fato de que a variabilidade dos atributos morfológicos dos solos ser determinada principalmente pelo material de origem em subsuperfície (60-80 cm).

Bockheim et al (2005) ressaltaram que a predição do comportamento dos solos e respectivos processos pedogenéticos dependem principalmente de variações de material de origem, do relevo e do tempo. Por outro lado, Queiroz Neto (2011), ao discutir as relações entre vertentes e solos corrobora a ideia da coevolução solo e relevo, denominando-a de evolução solidária (sic).

O fato é que o sinergismo entre solos e relevo é amplamente aceito na comunidade científica, dada sua importância para prever a distribuição de áreas de solos na paisagem e o fluxo da água a partir do divisor de águas (DANIELS & HAMMER, 1992). Por isso, não é à toa que em Pedologia paisagem seja concebida frequentemente como uma coleção ou conjunto espacialmente adjacente de formas de relevo que podem ser observadas em uma única visada ou de um determinado ponto (RUHE, 1956). Mas, convém enfatizar que se trata da paisagem geomorfológica, marcada por uma fisionomia, na qual o entendimento é de que as relações solos x paisagem são o mesmo que solo x relevo, como já exposto. Contudo, os processos geológicos / geomórficos determinam substancialmente, mas não exclusivamente, os materiais dos quais os solos são derivados, devido a natureza e a redistribuição de sedimentos. Nesse sentido, princípios e técnicas extraídos da Geologia ou de outras ciências geralmente têm aplicações ou expressões que são exclusivas de solos e paisagens de solo (WYSOCKI et al, 2010).

Em suma, a Geomorfologia do Solo depende diretamente da Pedologia, Geologia, Hidrologia, Arqueologia, Geomorfologia, Geografia Física, Ecologia e Geotecnia, mas, não exclusivamente, de princípios e técnicas geológicas (DANIELS e HAMMER, 1992).

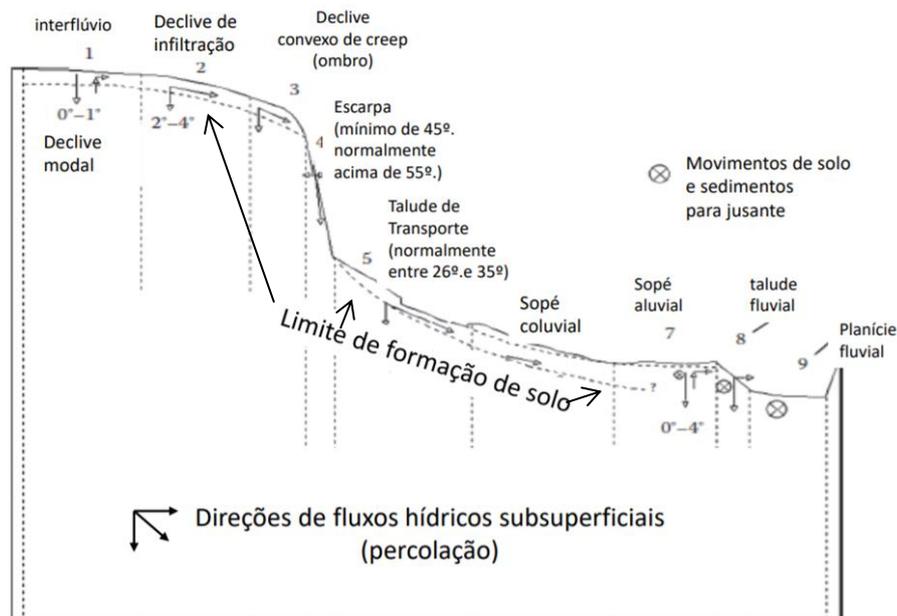
Os processos geológicos / geomórficos determinam substancialmente, mas não apenas, os materiais dos quais os solos são derivados por meio da natureza e redistribuição de sedimentos. Princípios e técnicas extraídos da geologia ou de outras ciências geralmente têm aplicações ou expressões que são exclusivas de solos e paisagens de solo (WYSOCKI et al, 2010).

Reconhece-se duas formas de foco nesse tipo de estudo, o das Superfícies Geomórficas escalonadas e sucessivas e o das vertentes, ambos com sucessões laterais de solos e sendo representativas de unidades de paisagem, como a seguir.

- Superfícies Geomórficas escalonadas e sucessivas

Coube a Dalrymple, Blong, Conacher (1968) e a Conacher & Dalrymple (1977) definirem uma seção topográfica representativa de uma unidade de relevo (3D), que se estende do topo do interflúvio ao fundo do vale e da superfície do solo à base do *solum*, a qual foi segmentada em nove superfícies geomórficas escalonadas, com base na morfologia do solo, mobilização e transporte de constituintes do solo e redeposição de constituintes do solo através dos fluxos hídricos, ou por gravidade como através dos movimentos de massa (Fig. 8).

Figura 8 - Modelo de encosta mostrando a sequência de superfícies geomórficas e solos associados, conforme Dalrymple et al. (1968).



Fonte: Adaptado por Wysock et al (2010).

Exemplo de uma Legenda provável para solos de região tropical

1. Solo bem desenvolvido, drenagem vertical – exemplo Latossolo
- 2 e 3 Solo bem desenvolvido com diferenciação morfológica vertical e drenagem subsuperficial lateral crescente – exemplo Argissolo
- 4 Solo pouco desenvolvido o afloramento rochoso, escoamento superficial – exemplo Neossolo litólico
- 5 Solo sobre material de origem transportado, drenagem lateral – exemplo Cambissolo
- 6 Solo sobre material coluvial, drenagem lateral – Latossolo ou Argissolo
- 7 Solo sobre sedimentos aluviais – exemplo Neossolo flúvico e, ou Gleissolo
- 8 Solo saturado ou sedimentos aluviais – exemplo Gleissolo ou Sedimentos Quaternários
- 9 Canal fluvial

Na Figura 8, no segmento 1, do topo do interflúvio, predomina a percolação vertical que promove o desenvolvimento homogêneo do solo e seu aprofundamento; no 2 já têm início os fluxos laterais, tanto superficiais como subsuperficiais que podem promover o aparecimento de horizontes superficiais lixiviados e empobrecidos, bem como a erosão; no 3 domina movimento de rastejo devido ao forte declive, limitando o aprofundamento de solos; no 4, a escarpa, ocorre a exfiltração da água infiltrada e praticamente o solo não se desenvolve, podendo ocorrer afloramentos de rocha; no 5, a meia encosta, o fluxo lateral subsuperficial lateral é mais importante que o de percolação vertical e o solo começa a espessar-se, mas, podendo promover o aparecimento de horizonte subsuperficial empobrecido; no 6, o sopé, acumulam-se os colúvios e os solos podem apresentar desenvolvimento incipiente; no 7, o fundo de vale, acumulam-se os sedimentos aluviais e as margens do canal fluvial instalado podendo apresentar saturação permanente ou sazonal; no 8 encontra-se o barranco do canal fluvial e no 9 o próprio canal. Evidentemente, trata-se de um modelo, portanto, na realidade podem ocorrer variações, como aparecimento de um ou mais terraços, de patamares estruturais na escarpa e de rupturas de declive nas vertentes, entre outras, dependendo da história geomorfológica e do material de origem dos solos de cada superfície geomórfica.

Em síntese, tais abordagens contemplam desde o regolito, pedogeneizado em sua parte superior, e subposto à topografia do terreno, em correspondência com cada segmento do relevo ou superfície geomórfica, em especial o declive e os consequentes fluxos hídricos. Constata-se, portanto, uma relação sistêmica entre os fatores naturais que controlam a formação dos solos nas paisagens, onde se percebe uma ligação notável dos solos com o material de origem e com o relevo, associada a uma compartimentação topográfica, porém, deve-se estar atento porque cada caso é um caso, mas a topografia induzindo a circulação hídrica fica evidente nesse modelo.

A circulação hídrica no solo, induzida pela topografia, tornou-se cada vez mais importante, desde Greene (1945), pois que a água precipitada, mas não infiltrada e a infiltrada, respectivamente levam ao escoamento superficial e ao subsuperficial, ambos lateralizados e que predominam na encosta, enquanto a percolação vertical e de recarga freática concentra-se no topo do interflúvio. É oportuno lembrar que nesses caminhos, a água pode conter elementos dissolvidos e em suspensão que são translocados verticalmente para baixo e, ou para jusante, onde se acumulam e podem elevar o pH e aumentar a saturação de bases favorecendo a neoformação de minerais esmectíticos; ao contrário, no topo e encosta superior, onde há perda de cátions e o pH e a saturação de bases diminuem, a desilicatação se instala e ter-se-ia o desenvolvimento de argilas caulínicas e óxidos, caracterizando solos ácidos.

A título de exemplo, é comum nos planaltos da região tropical subsúmida uma sucessão lateral constituída por Latossolo Vermelho distrófico caulínico e rico em hematita, ou Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico no topo e eventualmente terço superior, caulínico e goetítico, um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico na média

encosta, caulínico e pobre em ferro, e um Gleissolo eutrófico háplico no fundo de vale. Esse exemplo corresponde a um sistema de transformação pedológica lateral do Latossolo em Argissolo do tipo e-iluvial (BOULET et al, 1984) em que os fluxos hídricos lateralizados subsuperficiais são capazes de remover finos a montante e na parte subsuperficial do Argissolo formando o horizonte E, fortemente contrastado com o Bt subjacente, formando um lençol suspenso no topo do Bt (CASTRO, 1999; SALOMÃO, 1999).

- A Análise Estrutural da Cobertura Pedológica

A Análise Estrutural da Cobertura Pedológica corresponde a um procedimento de estudo dos solos em seus vários níveis estruturais embutidos uns nos outros, indo da paisagem ao microscópio e considerando as escalas de cada nível. Em termos teóricos inspirou-se nas catenas de Milne (1935), mas foi além (BARROS, 1986; BARROS et al, 1982, RUELLAN & DOSSO, 1993; QUEIROZ NETO, 2010, 2011). Pode-se considerar que incluem os princípios de Greene (1945) quanto à circulação hídrica e de Bushnell (1942) quanto à denominação de catenas, preferindo denominá-las topossequências.

Baseia-se no conceito de cobertura pedológica como um *continuum*, onde pode ocorrer aparecimento e desaparecimento de horizontes ao longo de transectos topográficos do topo dos interflúvios aos fundos de vale, perpendiculares às curvas de nível. Expõe sucessões laterais de solos denominados como sistemas pedológicos, que podem resultar de transformação vertical da rocha em solo ou lateral de um solo em outro, ambos por efeito da topografia (plana no primeiro caso e em declive no segundo), que condiciona a drenagem externa e sobretudo a interna. A drenagem interna é capaz de mobilizar os constituintes em solução e, ou em suspensão e lateralmente dar origem a horizontes de perda a montante e acumulação a jusante. As representações 2 D (morfológico-funcionais) denominadas de topossequências no sentido amplo do termo (BOULET et al, 1982 a), podem conter sistemas de transformação pedológica vertical ou lateral (BOULET, CHAUVEL E FRITSCH, 1984). As representações 3D (cartográficas) baseiam-se nas curvas de isodiferenciação, que marcam as passagens morfológicas e pedogenéticas nos arranjos verticais e laterais dos horizontes pedológicos numa dada área, idealmente numa pequena bacia hidrográfica elementar (1ª. ou 2ª ordem) representativa de uma dada unidade geomorfológica (ou CMP).

Trata-se de um estudo multiescalar e multiproxy dos solos, que foi bem ilustrado por Bocquier (1984). Como ilustrado por Castro & Cooper (2019), parte da megaestrutura (paisagem), passando pela macroestrutura (topossequências, perfis de solo, horizontes, agregados) e chega ao nível microscópico óptico e eletrônico (microestrutura e nanoestrutura, respectivamente) (BOULET et al, 1982 a, b, c; RUELLAN, 1985; BARROS, 1986; RUELLAN et al. 1989; DOSSO & RUELLAN, 1993; RUELLAN & DOSSO, 1993; SANTOS, 2013; NAKASHIMA et al, 2017; RUBIRA et al 2019). Ruellan & Dosso (1993) sistematizaram a proposta num livro (em francês) intitulado “A descoberta dos solos”. Além disso, Ruellan ministrou numerosos cursos de capacitação de pessoal no Brasil, uma experiência de ensino em colaboração com Queiroz Neto, depois com esta autora, que deu muitos frutos (QUEIROZ NETO, 2002; CASTRO et al, 2018).

Segundo Ruellan et al (1989) e Ruellan & Dosso (1993), nessa abordagem as estruturas da cobertura pedológica encontram-se organizadas e hierarquizadas em quatro níveis que se iniciam com as organizações elementares (microestruturas) e vão até os sistemas pedológicos (paisagem). Para observá-las sistematicamente, os recursos

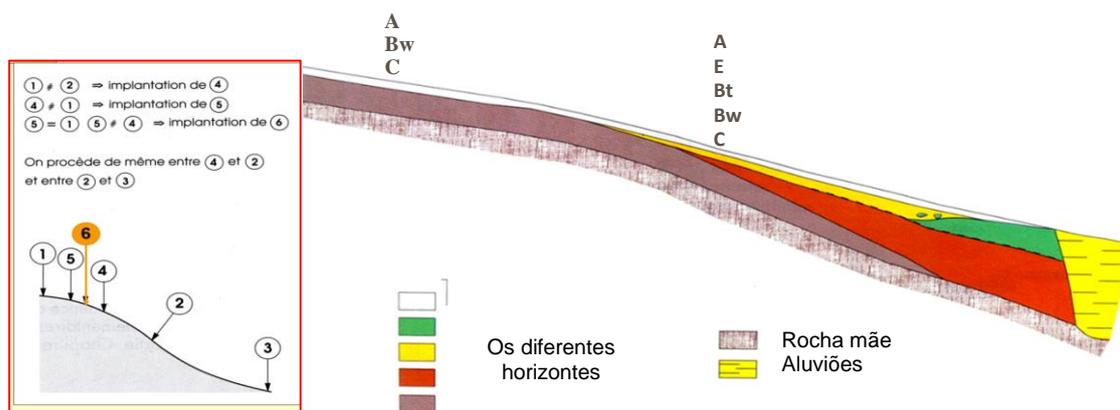
começam com imagens de satélite e fotos aéreas e prosseguem em campo com o levantamento em topossequências de pequenas bacias hidrográficas (1ª. ou 2ª ordem), cujas amostras deformadas e indeformadas são levadas aos laboratórios, onde são submetidas a análise físicas, químicas, mineralógicas e microscópicas (micromorfologia de solos).

Como afirmara Ruellan et al (1989), esses níveis correspondem a quatro escalas diferentes de organização estrutural da cobertura pedológica, respectivamente:

- as organizações elementares, que correspondem aos constituintes do solo, tais como a fração argila, a fração silte e areia e os poros que, juntos, constituem o fundo matricial ou matriz do solo;
- as assembleias, que correspondem a um conjunto de organizações elementares (podendo ser em agregados ou grãos simples);
- os horizontes, que correspondem ao conjunto de um ou vários tipos de assembleias (visíveis em perfis de solo alinhados do topo à base das encostas);
- os sistemas pedológicos, que representamos horizontes e relação entre horizontes, isto é, como eles se superpõem verticalmente e se sucedem lateralmente do topo à base das vertentes, na escala da unidade do relevo (em *continuum*).

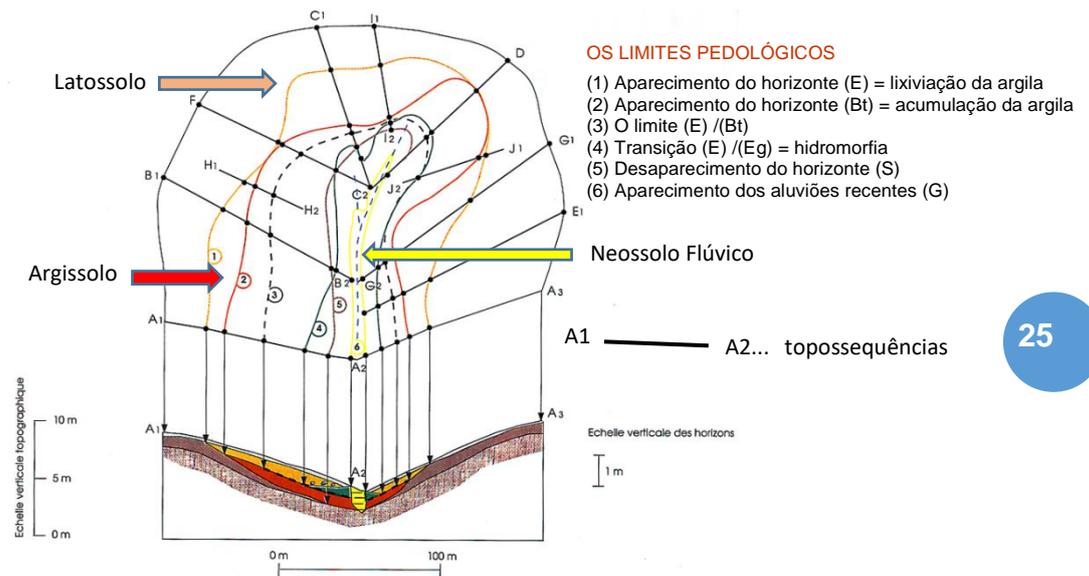
Ao se levantar várias topossequências em uma mesma bacia hidrográfica, pode-se indicar linhas que indicam aparecimento ou desaparecimento de horizontes ou determinadas feições. Essas linhas são denominadas curvas de isodiferenciação. O mapa assim elaborado é muito diferente de um mapa tradicional de solos (RUELLAN & DOSSO, 1993). A Figura 9 mostra o procedimento para levantamento de topossequência segundo Ruellan e Dosso (1993), descrito no Brasil por Barros (1986); a Figura 10 mostra um mapa com curvas de isodiferenciação e as topossequências indicadas, sendo duas basais representadas em continuum (A1 – A2 e A2 – A3). Observe-se que nas várias topossequências as curvas de isodiferenciação indicam posições topográficas mais altas ou mais baixas de aparecimento dos horizontes E e Bt, sugerindo que a bacia apresenta graus evolutivos diferentes do mesmo sistema pedológico associados a uma certa dissimetria morfológica entre seus lados direito e esquerdo.

Figura 9 – Procedimento para levantamento de topossequência segundo Ruellan e Dosso (1993).



Fonte: Ruellan & Dosso, 1993.

Figura 10 – Exemplo de Mapa de curvas de isodiferenciação indicando topossequências basais constituídas pelo Sistema Pedológico Latossolo – Argissolo – Neossolo Flúvico.



Fonte: Adaptado de Ruellan, 1998.

Convém assinalar que as topossequências foram amplamente assimiladas e estudadas em várias partes do mundo, mas os mapas de isodiferenciação foram bem menos, ficando mais restritos aos pedólogos franceses, sobretudo das possessões francesas e países antes pertencentes à França, além do Brasil, onde foi intensamente divulgada, paralelamente a cursos de capacitação (QUEIROZ NETO, 2002, 2010) e ficou conhecida como a escola francesa de estudo do solo (ESPÍNDOLA, 2020).

A GEOGRAFIA DO SOLO REVIGORADA OU RENOVADA – A FASE 3

Geografia do Solo Revigorada é o termo atribuído por Miller et al (2019) em seu artigo. Não se trata propriamente de uma fase do estudo das relações entre solo e relevo, ainda que possa ser utilizada para tal. Dessa leitura, constata-se que praticamente é reafirmado o objetivo de mapear a distribuição espacial dos solos em diferentes escalas, como no início da Geografia do Solo, mas valorizando as suas propriedades e atributos e respectivas causas, como discutido por Miller & Schaetzl (2015), Miller et al (2019) e Rodrigo-Comino et al (2018). O fato é que se baseia no conhecimento acumulado nas fases anteriores, na forma de indicadores e respectivos parâmetros (métricas).

O que justifica essa retomada é que vem sendo fortemente favorecida pelas geotecnologias digitais, ou seja, pelo Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de monitoramentos vários via imagens de satélites e proximal, que permitem rapidamente o estabelecimento de vários inter cruzamentos de variáveis (MILLER et al, 2019). Pode-se dizer que mantém afinidades com a Pedometria e a Cartografia Digital de Solos e interessa, em especial, ao atendimento da crescente demanda de informações geoespaciais e geodinâmicas, sobretudo preditivas, principalmente na forma de mapas visando suporte técnico à tomada de decisão, principalmente em termos de problemas ambientais e agrônômicos.

Pode-se constatar não há muito o que se dizer sobre as relações solo e relevo. Mesmo assim, os documentos gerados, dependendo da escala e das variáveis mapeadas, podem priorizar as de interesse das relações solo e relevo, numa perspectiva geoespacial

e mesmo geodinâmica ou mista, visando elaboração de hipóteses a serem testadas em campo, onde deverão se associar aos procedimentos e termos aqui relatados na fase 2.

CONCLUSÕES

Este artigo trata da periodização dos estudos sobre as relações entre solo e relevo desde o final do século XIX e que foram subdivididos em 3 grandes fases: a primeira, inicial, do século XIX, quando da criação da Pedologia e da Geografia do Solo; a segunda, da revolução teórico-metodológica do século XX e a terceira, do retorno da Geografia do Solo desde o final do século XX.

Na inicial ou fase 1, o relevo era considerado um fator de formação dos solos que se revelava mais importante na escala local, ou da paisagem, por ser capaz de explicar a ocorrência de solos distintos daqueles da escala zonal, juntamente com as variações do material de origem dos solos. Foi uma fase que marcou os procedimentos basilares da Pedologia (horizontes, perfil de solo, fatores de formação) e da Geografia do Solo (distribuição espacial ou geográfica dos solos com base em seus fatores de formação).

Na segunda, fase 2, da revolução teórico-metodológica do século XX, vários termos foram propostos para o estudo das relações entre solo e relevo, ora adotando corpo de solo com a categoria espacial dos solos, ora o *continuum* da cobertura pedológica que negou a existência de tal corpo. Os estudos dessa fase 2 podem ser agrupados em três abordagens: (a) as geocartográficas como Geopedologia, Morfopedologia, Geomorfologia e Solo, baseados na correlação espacial dos mapas ou informações relativas aos fatores de formação dos solos, em uma mesma escala; (b) as geodinâmicas, como Geomorfologia do Solo / Pedogeomorfologia e (c) mista Análise Estrutural da Cobertura Pedológica. Todas se destinavam, e ainda destinam, respectivamente, ao estudo da sucessão lateral de solos ao longo de superfícies geomórficas escalonadas e classes de solos correlativos, ou em *continuum* ao longo das vertentes, esta denominada de topossequência e inspirada na catena de Milne, considerando a superposição, justaposição e mesmo superimposição de horizontes, por vezes associando-as a classes de solos, mas apenas como referência. Seu objetivo é compreender a morfologia e seu comportamento físico-hídrico, geoquímico e mineralógico que controlam a geometria dos horizontes pedológicos e suas relações com a topografia atual (concordante, discordante) em particular e a evolução morfopedológica. Identificando os sistemas pedológicos de transformação vertical (da rocha em solo em relevo plano ou suave com predomínio de circulação hídrica vertical) ou transformação lateral (de um horizonte em outro) condicionado pela circulação hídrica lateral associada à mudanças climáticas, tectônicas ou mesmo de uso que interferem no nível de base local/regional.

A fase 3, atual, em que a Geografia do Solo retorna, mas revigorada, desde o final do século XX, é notavelmente favorecida pelas geotecnologias geoespaciais e associada à cartografia digital de solos e pedometria (métricas), com fins predominantemente práticos, sobretudo agrônômicos e ambientais. O intercruzamento digital das superfícies geomórficas, declives, altitudes com as classes de solos podem gerar padrões espaciais como compartimentos morfopedológicos, pedopaisagens, pedoformas e geomorfons. Pode-se considerar também que nessa fase 3 pode ressurgir a necessidade de novos testes para identificação de pedopaisagens, cujos principais marcadores seriam os geomorfons, mas tudo isso é bastante incipiente.

Por fim, pode-se concluir que as fases 1 e 3 contribuíram para estreitar os laços entre Pedologia e Geografia, em especial com a Geografia Física. Mas foi a fase 2 foi a que mais contribuiu para compreender as relações entre solo e relevo, do ponto de vista

dos processos pedogenéticos e funcionais dos solos em *continuum*, nas escalas médias e grandes (semidetalhe e detalhe), ainda que tenham sido consideradas em Pedologia como sinônimo das relações entre solo e paisagem. E mais, que foi a fase que mais contribuiu para estreitar os laços entre Pedologia e Geomorfologia, ao esclarecer os processos pedogenéticos e morfogenéticos no âmbito das paisagens, sobretudo a geomorfológicas.

REFERÊNCIAS

- ANTROP, M. Geography and landscape science. **Belgeo**, 1-2-3-4, 2000.
- BARBOSA, L. G.; GONÇALVES, D. L. A paisagem em Geografia: diferentes escolas e abordagens. *Élisée - Revista de Geografia da UEG*, v. 3, n. 2, p. 92–110, 2014.
- BARROS, O.N.F. Procedimento de campo e gabinete no levantamento de topossequências. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 63, n.1, p. 5-12, 1986.
- BARROS, O.N. F.; CASTRO, S. S.; MANFREDINI, S.; PELLERIN, J.; TOLEDO, G. S.; QUEIROZ NETO, J. P. Caracterização e representação de volumes pedológicos em Marília (SP) - **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 1, n.1, p. 73-80, 1982.
- BIRKELAND, P.W. Pedology, weathering and geomorphological research. Oxford University.Press, New York,1974.
- BIRKELAND, P.W. Soil-geomorphic research – a selective overview. **Geomorphology** 3:207–224,1990.
- BIRKELAND, P.W. Soils and geomorphology, 3rd edn. Oxford University Press, New York.1999.
- BOCKHEIM, J. G.; GENNADIYEV, A. N.; HAMMER, R. D.; TANDARICH, J. P. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, v.124, p.23–36, 2005.
- BOCQUIER, G. Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. [S. l.]: ORSTOM, 1973. 325 p. (Mem. ORSTOM, 62).
- BOCQUIER, G. L'évolution des démarches en pédologie. De l'héritage de B.B. Dokoutchaev à la diversité des démarches actuelles en pédologie. **Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol**. Science du sol, n. 2, p. 113–121, 1984.
- BOULAIN, J. Projet de taxonomie pédologique. Tome I ed. [s.l.] Grignon: Multicopie, 1978.
- BOULET, R. Existence de systèmes à forte différenciation laterale en milieu ferrallitique guyanais: un nouvel exemple de couverture pédologique en déséquilibre. Science du Sol, n. 2, p. 75-82, 1978.

- BOULET, R. et al. Géochimie des paysages: Le rôle des couvertures pédologiques. *Sédimentologie et Géochimie de la Surface – à la mémoire de George Millot*, p. 55-76, 1993.
- BOULET, R.; CHAUVEL A.; 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 sols. **Cahiers de ORSTOM**, v. XIX, n. 4, p. 309–321, 1982.
- BOULET, R.; CHAUVEL, R.; LUCAS, Y. Les Systèmes de Transformation en Pédologie. **Libre Jubilaire du Cinquantenaire de la Science du Sol**. Paris: AFES, 1984. p. 167-179.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et Cartographie en pédologie. II - Une Méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cahiers de OSTROM**, v. XIX, n. 4, p. 323–339, 1982a. 12.
- BOULET, R.; HUMBEL, F.-X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et Cartographie en pédologie. III - Passage de la phase analytique A une cartographie générale synthétique. **Cahiers de ORSTOM**, v. XIX, n. 4, p. 341–351, 1982b.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. (1984). Les systhèmes de transformation en pédologie. In: Livre Jubilaire du Cinquantenaire de l'Association Française pour l'Étude du Sol – AFES. Paris, AFRES, p. 167-179. Trad.C.R.ESPINDOLA - Os sistemas de transformação em pedologia. **Boletim de Geografia Teorética**, 20: 45-63. 1990.
- BREVIK, E. C. et al. Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. **Geoderma**, v. 264, p. 256–274, 2016.
- BRIDGES, E. M. Soil geography: a subject transformed. *Progress in Physical Geography*, v. 5, n. 3, p. 398–407, 1981.
- BUI, E. N.; LOUGHHEAD, A.; CORNER, R. Extracting soil-landscape rules from previous soil surveys. *Australian Journal of Soil Research*, v. 37, n. 3, p. 495–508, 1999.
- BUOL, S. W.; HOLE; F.D.; McCracken, R.J. and Southard, R.J. Soil genesis and classification. 4. ed. Iowa State University Press, Ames, IA 50014. 1997.
- BUSHNELL, M. The “catena-drainage profile” key-form as a frame of reference in soil classification 1. *Soil Science Society Proceedings*, n. 205, p. 219–222, 1944.
- BUSHNELL, T. M. Some aspects of the soil catena concept. In: *Soil Science Society of America Journal*.1942.7p. 466–476.
- BUI, E. N.; LOUGHEAD, A.; CORNER, R. Extracting soil-landform rules from previous soil surveys. *Australian Journal of Soil Research*, v.37, p.495–508, 1999.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERE, D. M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. *Ciência Rural*, Santa Maria, 38:2485-2492, 2008.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, p. 104-114, 2006.

CAMPOS, M.C.C. Relações Solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**. Guarapuava (PR) v.8 n.3 p. 963 - 982 Set./Dez. 2012

CASTRO, S. S. Micromorfologia de solos aplicada ao diagnóstico de erosão. In: Antônio Teixeira Guerra; Rosângela Garrido; Antônio Soares da Silva. (Org.). Erosão e conservação de solos: conceitos, temas e aplicações. 1aed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, v. único, p. 127-163.

CASTRO, S.S.; ALVES, G.B.; OLIVEIRA, F. S. Solo e Paisagem: principais abordagens no estudo das interrelações. Capítulo In Perez Filho, A.; Ferreira, M.C. e Amorim, R.R. (org.) *Geografia: teorias, métodos e aplicações na perspectiva ambiental*. São Paulo, Editora Consequência, 2021 (no prelo)

CASTRO, S.S. & COOPER, M. Fundamentos de Micromorfologia de solo, SBCS, 2019.

CASTRO, S. S.; FERREIRA, R. P. D.; QUEIROZ NETO, J. P.; RUELLAN, A. Morfogênese e Pedogênese em São Pedro (SP). **Boletim Paulista de Geografia**, v. 100, p. 130-155, 2018.

CASTRO, S.S. & SALOMÃO, F.X.T. Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. **Geosp Espaço e tempo**, 7: 29-25, São Paulo, 2000.

CHAUVEL, A. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale a saisons contrastées: evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance (Sénégal). Travaux et ed. Paris: ORSTOM, 1977.

CONACHER, A.J. & DALRYMPLE, J.B. The nine unit land surface model: An approach to pedogeomorphic research. **Geoderma** 18:1-154. 1977.

CURI, N. Vocabulário de ciência do solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993.

DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hypothetical nine unit land a surface model. **Geomorphology**, v.12, p.60-76, 1968.

DANIELS, R. B.; HAMMER, R. D. Soil geomorphology. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 236p.

DELVIGNE, J. 1964 Pédogénese en zone tropicale. [S. l.]: ORSTOM, 1964. 177 p. (Mem. ORSTOM, 13).

DOKUCHAEV, V. V. A Contribution to the Theory of Natural Zones: Horizontal and Vertical Soil Zones (in russian). Mayor's Office Press, 1899a.

DOKUCHAEV, V. V. The Place and Role of Contemporary Pedology in Science and Life (in russian). Mayor's Office Press, 1899b

DOSSO, M.; RUELLAN, A. La couverture pédologique : histoire de sa découverte ; actualité de son exploration. In: Bulletin de l'Association de Géographes Français, 70e année, 1993-2 (mars). Morphogénèse et pédogénèse. Communications de l'étranger. pp. 77-85.

ESPÍNDOLA, C.R. A Pedologia e a evolução das paisagens. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 31 (1/2), 67-92, 2010.

ESPÍNDOLA, C.R. A escola francesa no estudo do solo. Ed do autor, 1ª ed.; Paulínia, SP

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) AND INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS. Status of the World's Soil Resources. Main Report Rome, Italy, 2015.

FRIDLAND, V.M. Structure of the soil mantle. **Geoderma** 12:35–41,1974

FRIDLAND, V.M. Pattern of the soil cover. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem,1976.

GERRARD, J. Soil geomorphology - present dilemmas and future challenges. **Geomorphology**, 7:61-84, 1993.

GERRARD, J. Soil geomorfology: An integration of pedology and geomorfology: London,Chapman Hall, 1992. 269p.

GREENE, H. Classification and use of tropical soils. Soil Science Society of America Journal, v. 10, n. C, p. 392–396, 1945.

GREENE, H. Soil formation and water movement in the tropics. Soil Fertility, v. 10, p. 253–256, 1947.

HALL, G. F. Pedology and geomorphology. In: WILDING, L.; SMECK, N.; HALL, G. (Ed.). Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and interactions. [s.l: s.n.]p. 117–140

HOLE, F. D. An approach to landscape analysis with emphasis on soils. **Geoderma**, v. 21, n. 1, p. 1–23, 1978

HOLE F.D., CAMPBELL, J.B. Soil landscape analysis. Rowman & Allanheld, Totowa,1985

HUGGETT, R. J. Soil landscape systems: a model of soil genesis. **Geoderma**, v.13, p. 1–22, 1975.

- IPPOLITI, G. A. R. et al. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de " Mar de Morros"(MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 269–276, 20
- JASIEWICZ, J. & STEPINSKI, T.F. Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*, 182:147–156, 2013.
- JENNY, H. Factors of soil formation. 1.ed. New York, McGraw- Hill, 1941. 362p
- 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
- JUNGERIUS, P.D. (ed) Soils and geomorphology. *Catena supplement*, vol 6. Catena Verlag, Cremlingen, 1985^a.
- JUNGERIUS, P.D. Soils and geomorphology. In: Jungerius PD (ed) Soils and geomorphology, vol 6, Catena supplement. Catena Verlag, Cremlingen, pp 1–18,1985b
- KELLOGG, C. E. Soil Survey Manual. Misc. Pub. ed. Washington DC: United States Department of Agriculture, 1937.
- LAFFORGUE, A., RIEDEL, C.E. and FRANCE DE FERRIRE, P.J.J., Les Graves de Bordeaux. D.S.A. Gironde. 1936.
- LAGACHERIE, P.; ROBBEZ-MASSON, J.; NGUYEN-THE, N.; BARTHS, J. Mapping of reference are a representativity using a mathematical soilscape distance. *Geoderma*, v.101, p.105-118, 2001.
- LAL, R. Land Degradation and Pedological Processes in a Changing Climate. *Pedologist* 55(3) 2011 p.315-325.
- LEPSCH, I.F. 19 Lições de Pedologia, São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LIN, H. Three Principles of Soil Change and Pedogenesis in Time and Space. *Soil Science Society of America Journal*, v. 75, n. 6, p. 2049–2070, 2011.
- IBAÑEZ, J. J. & BOCKHEIM, J. (Eds.): Pedodiversity, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2013.
- McFADDEN, L.D.; KNUEPFER, P.L.K. Soil geomorphology: the linkage of Pedology and superficial processes. In: KNUEPFER, P.L.K., MACFADDEN, L.D. (Ed.), Soils and Landscape Evolution. *Geomorphology*, v.3, p.197–205, 1990.
- MENEZES, M.D.; MOREIRA, G.I.; SILVA, S.H.G.; MARQUES, J.J.; CURI, N. Classificação da pedoforma a partir do *Geomorphons* e sua relação com classes de solos. Res. Exp. CBCS, XXXV, Anais, Natal, 2015.
- MILLER, B. A.; BREVICK,E.C.; PEREIRA, P.; SCHAETZL, R. J. 2019.Progress in Soil Geography I:Reinvigoration.In *Progress in Physical Geography* 43(6); 827-854.

MILLER, B. A.; SCHAETZL, R. J. The historical role of base maps in soil geography. **Geoderma**, v. 230–231, p. 329–339, 2014.

MILLER, B. A.; SCHAETZL, R. J. History of soil geography in the context of scale. **Geoderma**, v. 264, p. 284–300, 2016.

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

MILNE, G. Normal erosion as a factor in soil profile development. **Nature**. v.138, p.148, 1936.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. **Soil Research**, v.4, p.183–198, 1935.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development: II. A two-dimensional model incorporating chemical weathering. **Geoderma**, v.103, p.161–180, 2001.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Mechanistic soil-landscape modelling as an approach to developing pedogenetic classifications. **Geoderma**, v.133, p.138-149, 2006.

MINELLA, J. P.G. & MERTEN, G.H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. Revisão Bibliográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1575-1582, 2012

MUKHERJEE, S., MUKHERJEE, S., GARG, R.D., BHARDWAJ, A., RAJU, P.L.N., 2013. Evaluation of Topographic Index in Relation to Terrain Roughness and DEM Grid Spacing. **Journal of Earth System Science**, 122(3): 869–886.

MULLA, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil Spatial Variability. In: SUMMER, M.E. Handbook of Soil Science. New York: CRC Press, 1999. p.A321-A351.

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

NUNES, E.; CASTRO, S. S. Compartimentação morfo-pedológica aplicada à distribuição de padrões espaciais de processo erosivo em solos frágeis - Município de Mineiros, GO. Cap. In: CASTRO, S.S. & HERNANI, L.H. (Org.). Solos Frágeis: Caracterização, Manejo e Sustentabilidade. 1ed. Brasília: Embrapa, 2015, p. 2-367.

PARK, S. J.; BURT, T. P. Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope. **Soil Science Society American Journal**, v.66, p.1897–1910, 2002.

PENNOCK, D.J. Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. **Soil & Tillage Research**, v.69, p.15–26, 2003.

PENNOCK, D.J.; VELDKAMP, A. Advances in landscape-scale soil research. **Geoderma**, v.133, p.1-5, 2006.

PENNOCK, D.; MCKENZIE, N.; MONTANARELLA, L. Status of the World 's Soil Resources. Rome, Italy: Technical Summary FAO, 2015.

PRINCIPI, D.P. Geopedologia (Geologia Pedologica). Studio dei terreni naturali ed agrari. Ramo Editoriale degli Agricoltori, Roma, 1953

POUQUET, J. Initiation géopédologique. Les sols et la géographie. SEDES, Paris, 1966

QUEIROZ NETO, J.P. 1987. Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil. CONGR.BRAS. DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas. *Anais...* Campinas: SBCS, 1987. p. 415-426.

QUEIROZ NETO, J.P. 1993 Pedogênese e evolução das formas de relevo no Planalto Ocidental Paulista: o exemplo da região de Marília. In V Simpósio de Geografia Física, São Paulo, 505-510.

QUEIROZ NETO, J.P. 2000 Geomorfologia e Pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.1 (1): 59-67.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: Uma Experiência de Ensino e Pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, nº 15, pp. 77 – 90, 2002

QUEIROZ NETO, J.P. 2003 Geomorfologia e Pedologia. **GEOUSP Espaço e Tempo**, 13, p. 9-20 (reprint de Queiroz Neto, 2000).

QUEIROZ NETO, J.P. 2010 O papel da pedogênese no modelado do relevo: novos paradigmas. *Anais...VI Sem. Latino-Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio de 2010.*

QUEIROZ NETO, J.P. 2011 Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos. **Rev.Bras.de Geomorfologia**, v. 12 (3): 15-24.

RICHARDS, K. S.; ARNETT, R. R.; ELLIS, S. (ed.). *Geomorphology and soils*. [s.l.] George Allen & Unwin, 1985

RICHTER, D. de B.; YAALON, D. H. “The Changing Model of Soil” Revisited. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 3, p. 766–778, 2012

RODRIGO-COMINO, A. B.; SENCIALESC, J.M.; CERDÀD, A.; BREVIKE, E.C. The multidisciplinary origin of Soil Geography: A review. **Earth-Science Reviews** 177: 114–123, 2018.

ROSS, J. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v.6, p.17-29, 1992.

RUELLAN, A. Les apports de la connaissance des sols intertropicaux au développement de la pédologie: la contribution des pédologues français. **Catena**, Braunschweig, v. 12, n. 1, p. 87-88, 1985.

RUELLAN, A. 2005 Classification of Pedological Systems: a Challenge for the Future of Soil Science. **Annals of Agrarian Science**, Tbilisi (Georgia), vol. 3, n° 3, p. 24-28.

RUELLAN, A. & DOSSO, M., 1998. SOLIMAGE, CEDEROM, Éducagri Editions-AUF, Dijon-Paris.

RUELLAN, A. , DOSSO M., 1993 Regards sur le Sol. UREF-Les Editions Foucher, Paris.

RUELLAN, A., DOSSO M., FRITSCH E., 1989. L'analyse structurale de la couverture pédologique. **Science du sol**, v. 27, 4:319-334

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

RUHE, R. V. Geomorphology: geomorphic processes and surficial geology. Boston, Massachusetts: Houghton Mifflin, 1975, 246 p.

RUHE, R.V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. **Soil Science**, Baltimore, v.82, p.441-445, 1956.

SALOMÃO, F.X.T. Interpretação Geopedológica aplicada a estudos de Geologia de Engenharia. Diss. Mestrado, USP/IG, 1984.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção de processos erosivos. In: GUERRA, A.J.; GARRIDO, R. & SOARES, A., Orgs. Erosão e conservação de solos: conceitos, bases e aplicações. Rio de Janeiro, Bertand Brasil, 1999. Cap. 7 p.229-267

SANTOS, L.J.C. 2000 Contribuição da análise estrutural da cobertura pedológica ao desenvolvimento da ciência do solo. Rev. **RA'EGA**, Curitiba, n. 4, p. 131-138. Editora da UFPR

SCHAETZL, R.J. Catenas and Soils. 2013 In: SHRODER, J.F. (Ed.) Treatise on Geomorphology. vol. 4. Academic Press, San Diego, California, pp. 145–158.

SCHAETZL, R.J. & ANDERSON, S. Soils: genesis and geomorphology. Cambridge University Press, New York 2005.

SCHOORL, J. M.; VELDKAMP, A.; BOUMA, J. Modeling water and soil redistribution in a dynamic landscape context. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.66, p.1610–1619, 2002.

SCHOORL, J. M., SONNEVELD, M. P. W., VELDKAMP, A. Threedimensional Landscape process modeling: the effect of DEM resolution. **Earth Surface Processes and Landforms**. Chichester, 25, 1025–1034. 2000.

SILVA NETO, J.C.A. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. **Geografia** (Londrina), v. 22, n. 1. p.05-25 jan/abr. 2013.

SOUBIÈS, F. et CHAUVEL, A. Présentation de quelques systèmes de sols observés au Brésil. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol, XXI, no 4, 1984-1985 : 237-251

SOUZA, R. Q. Pedomorfogeologia e mapeamento digital de solos com horizonte B textural e B nítico em uma área piloto no Planalto Central do Brasil. 2015. Universidade de Brasília, 2015.

TERAMOTO, E.R.; LEPSCH, I.F.; VIDAL-TORRADO, P. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do ribeirão Marins (Piracicaba-SP). **Scientia Agricola**, v.58, p.361-371, 2001.

TRICART, J. L'épiderme de la terre: esquisse d'une géomorphologie appliquée. Paris: Masson, 1962.

TRICART, J. Principes et Méthodes de la Géomorphologie. **Soil Science**, 1965a.

TRICART, J. Morphogenèse et pédogenèse. I. Approche méthodologique: géomorphologie et pédologie. **Science du sol**, v. 1, p. 69–85, 1965b.

TRICART, J. La terre, planète vivante. Paris: Presses Universitaires de France, 1972.

TRICART, J. Ecogéographie des espaces ruraux. Paris: Nathan, 1994.

TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícia Geomorfológica**, v. 8, p. 5-18. 1968

TRICART, J., & KILIAN, J. L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel. Paris: Editions Maspéro, 1979.

VAN DER MEIJJ, V.M., ARNAUD, J. A. M.; TEMME, J.W.; SOMMER, M. Modelling soil and landscape evolution– the effect of rainfall and land use change on soil and landscape patterns. **Soil** 6, p. 337–358, 2020.

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.

YOUNG, F.J. & HAMMER, R.D. 2000 Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy and cluster analysis. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64:989-998.

WILDING, L. P. Pedology. In: SUMMER, M. E. Handbook of Soil Science. New York: CRC Press, 2000, p.83-116.

WYSOCKI, D. A.; SCHOENEGER, P. J.; LAGARRY, H. E. Soil surveys: A window to the subsurface. **Geoderma**, Amsterdam, v.126, p.167–180, 2005.

WYSOCKI, D. A.; SCHOENEGER, P.J.; LAGARRY, H.E. Geomorphology of soil landscapes. In: HUANG, P. M.; LI, Y.; SUMMER, M. E. (Ed.). Handbook of Soil Science: Properties and Processes. 2. ed. [s.l.] CRC Press, p. (29)1-26. 2010.

ZIADAT, F.M. Analyzing digital terrain attributes to predict soil attributes for a relatively large area. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 69:1590-1599. 2005.

ZINCK, J.A. Geopedologia - Elementos de Geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC Special Lecture Notes Series. Enschede, The Netherlands, 2012

ZINCK, J.A.; METTERNICHT, G.; BOCCO, G.; DEL VALLE, H.F. (Edit.) Geopedology: an Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies. Springer International Publishing Switzerland. 2016.

ZINCK, J.A.& VALENZUELA, Soil geographic database: structure and application examples. ITC Journal 1990 No.3 pp.270-294, 1990.