

PEDOGÊSE DE LUVISSOLOS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO: IMPLICAÇÕES AO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

Rodrigo Santana Macedo ¹
Cristiano dos Santos Sousa ²
Victor Junior Lima Felix ³
Vanessa dos Santos Gomes ⁴
Alexandre Pereira de Bakker ⁵

INTRODUÇÃO

A utilização irracional dos recursos naturais em áreas de climas áridos, semiáridos e subúmidos promovem a degradação dos ecossistemas e, conseqüentemente, contribuem para o estabelecimento do processo de desertificação. Esse último conduz paulatinamente a deterioração dos solos, da vegetação e do regime hídrico em consequência de pressões geradas por fatores climáticos e/ou antrópicos. Dentre as causas da desertificação no semiárido brasileiro (SAB) pode-se destacar a ocorrência de solos rasos, frequentes afloramentos rochosos, elevada pedregosidade, escoamento superficial com ravinamentos, baixa capacidade de retenção de água dos solos e substrato rochoso impermeável (CGEE, 2019).

É consenso entre a comunidade científica a necessidade de se diagnosticar e quantificar os fatores supracitados para compreendermos os mecanismos envolvidos no processo de desertificação, buscando estabelecer condições de predisposição dos solos que estejam diretamente relacionados com o estabelecimento/expansão desse processo. Nesse sentido, inúmeros estudos de caracterização de solos têm sido realizados no SAB (Farias et al., 2009; Martins et al., 2010; Medeiros et al., 2010; Biondi et al., 2011; Felix, 2016; Saraiva, 2016). Em geral essas pesquisas têm caracterizado a qualidade física, química e biológica dos solos, e em sua grande maioria, avaliados nas primeiras camadas dos solos.

No amplo espectro de geoambientes ocorrentes no SAB nordestino, o estado da Paraíba possui ampla diversidade de solos, principalmente em decorrência da variabilidade de materiais de origem e relevo, no qual juntamente com a ação dos organismos, clima e tempo, desencadeiam processos específicos de formação de solos (processos pedogenéticos). Alguns desses processos podem ocorrer naturalmente (p. ex., argiluviação, silicificação, ferralitização), outros podem ser desencadeados/acelerados por atividades antrópicas (p. ex., erosão, eutrofização), ou ainda, terem causas naturais e antrópicas (p. ex., gleização, salinização, sodificação). Independente da gênese, a atuação concomitante desses processos nas diferentes mesorregiões da Paraíba propiciam a formação de solos com propriedades físicas, químicas e mineralógicas distintas, que podem ser investigadas por meio do estudo das feições morfológicas e da composição dos solos (Sokolov, 1996; Wilding, 2000).

Nesse sentido, a fim de se identificar e distinguir os processos pedogenéticos e as propriedades minealoquímicas de ocorrência natural e aqueles oriundos de atividades antrópicas, torna-se fundamental o estudo de solos em áreas com vegetação nativa ou onde a vegetação apresenta considerável grau de regeneração e/ou mínimo de intervenção antrópica.

¹ Pesquisador PCI/CNPq do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, macedo-rs@hotmail.com;

² Pesquisador PCI/CNPq do Instituto Nacional do Semiárido - INSA cs.agronomia@gmail.com;

³ Doutorando da Universidade Federal da Paraíba - PPGCS/CCA/UFPB, victorfelixif@gmail.com;

⁴ Pesquisador PCI/CNPq do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, vanessa.gestao.ifpb@gmail.com;

⁵ Professor orientador: Pesquisador, Instituto Nacional do Semiárido - INSA, bakker1000@yahoo.com.br.

Além disso, os solos a serem estudados devem apresentar características taxonômicas chave, serem representativos de uma dada região, importantes do ponto de vista de uso e devem apresentar significativa importância ambiental (USDA, 2010).

Diante do exposto, nessa pesquisa identificamos os processos pedogenéticos envolvidos na formação de Luvisolos Crômicos (p. ex., argiluviação, elutriação, formação de argila in situ) sob vegetação de caatinga preservada no município de Sumé (PB) e estabelecemos as relações com alguns mecanismos envolvidos no processo de desertificação. Nesse sentido, estudo pedológico e mineralógico permitiu entendermos a relação existente entre os argilominerais (p. ex., caulinta, minerais 2:1, minerais facilmente intemperizáveis) com as propriedades físicas (estrutura, expansão e contração, etc.) e químicas (p. ex., adsorção de nutrientes, CTC) dos Luvisolos estudados.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

Descrição e amostragem dos solos

O estudo foi desenvolvido na Universidade Federal de Campina Grande - Campus Sumé (PB). O clima é semiárido, (Bsh' – Köopen) onde predomina caatinga hipoxerófila e relevo suave ondulado/ondulado. A geomorfologia é representada pela superfície de pediplanação da Depressão Sertaneja. O material de origem é gnaisse datado dos períodos Pré-Cambriano. Três perfis de Luvisolos Crômicos foram descritos nos segmentos terço superior, médio e inferior de uma vertente convergente retilínea. Os perfis foram descritos e amostrados de acordo com Santos et al. (2015) e os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018).

Análises físicas, químicas e mineralógicas

As análises foram realizadas segundo Embrapa (2017). A fração argila foi determinada pelo método da pipeta, a fração areia por tamisamento e silte por diferença. As análises químicas realizadas foram pH (H₂O), Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, acidez potencial (H + Al), P, K⁺, Na⁺ e micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu). O carbono orgânico foi quantificado por meio de oxidação por via úmida.

Na análise mineralógica a matéria orgânica foi oxidada com peróxido de hidrogênio e o ferro eliminado com ditionito-citrato de sódio-bicarbonato de sódio - DCB (Mehra & Jackson, 1960). Os minerais da fração areia e silte foram identificados em lâminas em pó. Os argilominerais foram identificados após em lâminas orientadas a partir dos tratamentos K 25°C, K 350°C, K 550°C, Mg²⁺ 25°C e Mg²⁺ solvatada com glicerol. Os minerais foram submetidos à difração de raio-X no difratômetro D-2 Phaser. Os teores elementares de elementos maiores e traços das frações areia, silte e argila foram obtidos por meio de espectrometria de fluorescência de raios X por dispersão de energia (EDXRF).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Atributos morfológicos

Os Luvisolos estudados apresentam-se muito pedregosos em superfície (40-50 %). Tal pedregosidade é constituída por calhaus e matações de quartzos semidesarestados e, em menor proporção, feldspatos alcalinos que permanecem em superfície devido ao arraste de material mais fino (silte + argila) durante eventos chuvosos torrenciais e concentrados comuns no SAB. Em superfície também ocorre moderada rochiosidade (10-25 %), representada por matações de gnaisse, biotita xisto e micaxistos cinzentos-oliváceos. No perfil, notadamente nos horizontes A, a pedregosidade (10-15 %) é representada por quartzos ferruginizados e concreções ferruginosas que apresentam núcleo avermelhado e córtex amarelado.

Os solos apresentam sequência de horizontes A1-A2-Bt-CR (P1) e A-Bt-CB (P2 e P3). Os horizontes A variaram de bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/3 – P1 e P2) a bruno-escuro (10YR 3/3). A ocorrência de horizonte A mais espesso (26 cm) no P1 indica que no terço superior da vertente o processo de cumulização é mais expressivo, ao passo que no terço médio e inferior os processos erosionais contribuem de forma mais efetiva para a redução da espessura desse horizonte. Entretanto, a coloração mais escura e os maiores teores de carbono orgânico no A do P3 (4 g kg⁻¹) indica maior efetividade do processo de melanização. A estrutura em blocos subangulares fracos/moderados de tamanho pequenos e médios que se desfazem em granular pequena e muito pequena é devido ao empilhamento face a face da mineralogia predominantemente caulínica, bem como uma resposta aos ciclos de umedecimento e secamento mais intensos em superfície. Os horizontes A são friáveis, ligeiramente plásticos e ligeiramente pegajosos ou pegajosos. A transição plana e gradual para o horizonte Bt no P1, bem como a ausência de horizonte transicional, indica pouca efetividade da bioturbação na homogeneização desses horizontes. Por outro lado, no P2 e P3 a transição ondulada e gradual é devido ao inemperismo diferencial no topo do horizonte Bt que permite em partes a entrada de material enegrecido do horizonte A.

A cor do horizonte Bt é vermelho escuro no P1 (2,5YR 3/6), bruno-avermelhado-escuro no P2 (2,5YR 3/4 - P2) e vermelho no P3 (2,5YR 4/6). Essa coloração é devido ao processo de rubeficação, causado pela liberação de Fe²⁺ de minerais primários e oxidação como hematita. A maior espessura do Bt em P1 indica maior evolução pedológica desse perfil em relação aos demais, pois no terço superior a infiltração de água é favorecida em relação ao deflúvio, permitindo maior percolação de água e consequente espessamento do solum. Todos os horizontes Bt são argiloso e apresentam estrutura moderada muito grande prismática composta por blocos subangulares moderados grandes e muito grandes. Essas estruturas são formadas a partir do fendilhamento do solo em resposta a ciclos de umedecimento e secamento devido a presença de minerais expansivos, notadamente vermiculitas e esmectitas. Esses horizontes são ligeiramente duros a duros quando secos, firmes quando úmidos e muito plásticos e muito pegajosos quando molhados. Cerosidade comum e moderada no P1 confirma que a expansão e contração das unidades estruturais e/ou o processo de argiluviação é mais efetivo nesse perfil. Nódulos de Mn e de carbonato ocorrem nesses horizontes, notadamente no Bt do P1. Dessa forma, os dados demonstram que o P1 é pedologicamente mais evoluído que os Luvisolos das posições do terço médio e inferior.

Os horizontes CB possuem estrutura prismática moderada grande (Bt) e laminar (C), sendo essa última herança da estrutura original do gnaiss. Esse horizonte é bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4), muito argiloso e muito plástico e muito pegajoso. A fraca (P2) e forte (P3) efervescência com H₂O₂ indica a ocorrência de óxidos de manganês, que ocorrem tanto em padrão dendrítico como na forma de nódulos. Esses óxidos estão relacionados com um dique de material máfico nos perfis, provavelmente diabásio, que também apresentam óxidos de Mn. À semelhança do horizonte Bt, esses horizontes também apresentam nódulos de carbonato.

2. Atributos físico e químicos

Devido os solos apresentarem horizonte Bt e argila de atividade alta, todos os solos foram classificados como Luvisolos. No P1 a relação textural de 1,60 e a ocorrência de mudança textural abrupta foram os critérios que permitiram a caracterização do horizonte B textural (Bt). Nos demais perfis a ocorrência do Bt foi constatada pela ocorrência de estrutura prismática e/ou em blocos de grau moderado conjugado com cerosidade comum e moderada. A mudança textural abrupta no P1 demonstra que nesse perfil as condições para translocação de argila e/ou formação de argila in situ e/ou erosão preferencial de finos foi mais efetivo. Em adição, essa condição torna esses solos mais suscetíveis ao processo erosivos quando comparado com os

demais, tendo em vista que a infiltração de água em maiores profundidades deve ser dificultada em virtude da menor permeabilidade em subsuperfície.

À exceção do horizonte A1 (P1) moderadamente alcalino, os demais horizontes apresentam reação moderadamente ácida a praticamente neutra. A virtual ausência de Al^{3+} ($0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e os baixos teores de H^+ contribuem para a manutenção dessas classes de reação dos solos. Todos os solos apresentam elevada soma de bases ($6,2 - 15,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e CTC ($7,2 - 16,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), notadamente no P3. Devido a isso, todos os solos são eutróficos, condição essa favorecida pelo constante intemperismo de minerais facilmente intemperizáveis, tais como biotita, albita e anfibólios, bem como pelas reduzidas taxas de lixiviação em decorrência da baixa pluviosidade da região. Os valores de P são mais elevados nos horizontes A (4 mg kg^{-1} P1; 13 mg kg^{-1} - P2; 12 mg kg^{-1} - P3) e no horizonte CB do P3 (14 mg kg^{-1}). Comportamento semelhante ocorre com o carbono orgânico, notadamente no horizonte A do P3 (44 g kg^{-1}). Notáveis também são os teores de Fe nos horizontes Bt (665 mg kg^{-1} - P1; 340 mg kg^{-1} - P2; 496 mg kg^{-1} - P3) e de Mn nos horizontes A (90 mg kg^{-1} - P1; 135 mg kg^{-1} - P2; 160 mg kg^{-1} - P3). Esses teores elevados de Fe estão relacionados com a liberação do mesmo de minerais primários máficos, tais como anfibólios e biotitas, enquanto os teores de Mn é devido sua liberação de diques de material máfico e posterior adsorção na matéria orgânica dos horizontes superficiais.

3. Atributos mineralógicos

À exceção do SiO_2 e K_2O , no P1 e P2 os teores totais de elementos na fração areia diminuem no sentido saprolito horizontes superficiais. Em contraste, no P3 os teores totais de elementos aumentam no mesmo sentido. Isso indica provável enriquecimento geoquímico devido ao transporte de elementos das posições mais elevadas. Apesar do exposto, a assinatura geoquímica dos perfis são semelhantes, com destaque para os teores elevados de CaO , MgO e Fe_2O_3 dos horizontes CB, ao qual indicam reserva mineral devido a ocorrência de minerais máficos oriundos do intemperismo do gnaiss. É importante salientar que muitos desses minerais são facilmente intemperizáveis, o que implica em reserva de nutrientes a curto/médio prazo para as plantas.

Na fração argila predominam teores de Si e Al devido ao processo de bissialitização. Esse processo também é evidenciado pela identificação de minerais 2:1, tais como ilitas e vermiculitas com hidróxi-entrecamada, o que demonstra perda parcial de sílica e manutenção das bases trocáveis ao longo do processo evolutivo dos solos. Devido a ocorrência dessas argilas 2:1 nos horizontes Bt, os solos fendilham em resposta a ciclos de umedecimento e secamento, bem como, imprimem aos solos considerável capacidade de troca de cátions. A ocorrência de teores considerados de Ca e Mg na fração argila estão em acordo com os também elevados teores trocáveis desses elementos, principalmente devido ao intemperismo de plagioclásios e biotitas. A assinatura geoquímica e mineralógica dos Luvisolos demonstra que a gênese desses solos está diretamente relacionado com o intemperismo de materiais de natureza máfica conjugada com baixas taxas de lixiviação de bases.

4. Processos pedogenéticos e desertificação

Um dos processos responsáveis pela gênese dos Luvisolos, notadamente o P1, é a perda preferencial de finos (argila) em superfície. Em campo esse processo é evidenciado pela ocorrência de erosão laminar ligeira e pela constatação de pedestais (“demoisells”) que indicam salpicamento intercalado com remoção de partículas pelo escoamento superficial. Tal fato confirma que mesmo sob vegetação com considerável estágio de preservação pode ocorrer perda de material de superfície, com implicações diretas a perda de argila, no qual é responsável por grande parte da capacidade de retenção de cátions essenciais a nutrição de plantas. Como agravante, tem-se o fato de que esses solos geralmente ocorrem em relevo suave ondulado a

ondulado, o que aumenta a velocidade de escoamento da água e o arraste de material para as porções mais rebaixadas da paisagem.

No P1 foi constatado incremento considerável de argila para o horizonte Bt dentro dos primeiros 30 cm. Essa mudança textural abrupta aumenta a susceptibilidade desses solos aos processos erosivos, principalmente durante os eventos de chuva torrenciais. Nesse período a água pode infiltrar rapidamente no horizonte A e, em seguida, diminuir a velocidade de infiltração ao atingir o horizonte Bt de menor permeabilidade, o que pode levar a saturação desse último horizonte com consequente arraste de material superficial.

O processo de pedalização nesses solos contribui para o desenvolvimento de estruturas de tamanhos grandes e muito grandes devido a expansão e contração acentuada desses solos. Entretanto, o processo de expansão e contração dos solos pode contribuir para o achatamento e ruptura das raízes, o que pode a médio e longo prazo acarretar em menor aprofundamento de raízes e declínio de produtividade. Em adição, a pedalização favorecida pela mineralogia expansiva e os teores elevados de argila acarretam em uma consistência seca muito dura a extremamente dura, o que pode limitar o enraizamento de raízes.

A ocorrência de bissialitização implica em consideráveis valores de CTC aos solos. Logo, nesses solos há menores perdas de nutrientes por lixiviação, e consequentemente maior retenção de cátions, tendo em vista que os minerais expansivos apresentam elevada CTC. Com isso, há consideráveis sítios de troca para adsorção dos nutrientes essenciais para a nutrição de plantas, notadamente Ca e Mg. Em adição, esses elementos também atuam como pontes entre argilominerais e matéria orgânica, com notáveis benefícios para agregação e aeração dos solos. Entretanto, deve-se salientar que o excesso de cargas negativas nos horizontes superficiais nesses solos pode levar a dispersão dos colóides.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas futuras que buscam entender a gênese de Luvisolos e avaliar seu comportamento frente aos processos de desertificação devem ser realizados em maiores profundidades, bem como considerar processos pedogenéticos específicos em detrimento somente da taxonomia de solos. Tal afirmativa advém do fato de que apesar de pertencerem a ordem e subordem semelhante, os Luvisolos Crômicos estudados apresentam atributos e propriedades contrastantes devido a intensidade variável dos processos de formação, com impacto direto sobre práticas de manejo e uso adequado desses solos.

A mineralogia e geoquímica dos solos aponta forte herança desses solos com o material de origem máfico, notadamente gnaisses e diques de diabásio. A hidrólise parcial atuando sobre esses materiais promoveu a instalação da bissialitização, apesar de que a ocorrência de caulinita nesses solos demonstra que a monossialitização também deve ser um processo importante. A bissialitização é responsável pela formação das argilas de alta atividade e expansivas que imprimem aos solos considerável CTC.

Nossos dados confirmam que os Luvisolos de Sumé apresentam feições de erosão mesmo quando mantidos sob vegetação com considerável estágio de regeneração. Essa erosão pode ser agravada nos solos que apresentam mudança textural abrupta, o que implicaria em maiores riscos a instalação dos processos de desertificação. Em adição, a ocorrência natural de elutriação nos Luvisolos demonstra que nesses solos podem ocorrer perda de argila em superfície, o que leva gradualmente a perdas na capacidade de retenção de cátions básicos e diminuição da fertilidade desses solos.

Palavras-chave: Sumé, argiluviação, elutriação, depressão sertaneja

REFERÊNCIAS

- BIONDI, C.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; FABRÍCIO NETA, A.B.; RIBEIRO, M.R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1057-1066, 2011.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. 2016. 252p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018. 589p.
- FARIAS, D.R.; OLIVEIRA, F.H.T.; SANTOS, D.; ARRUDA, J.A.; HOFFMAN, R.B.; NOVAIS, R.F. Fósforo em solos representativos do Estado da Paraíba.I – Isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:623-632, 2009.
- FELIX, E.S. **Relação de pedoambientes com os estoques de carbono e nitrogênio e com as formas de fósforo e nitrogênio em solos do semiárido paraibano**. 69p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo – Universidade Federal da Paraíba). Areia – PB. 2016.
- MARTINS, C.M.; GALINDO, I.C. de L.; de SOUZA, E.R.; POROCA, H.A. Atributos químicos e microbianos do solo de área em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1883-1890, 2010.
- MEDEIROS, J.S.; OLIVEIRA, F.H.T.; SANTOS, H.C; ARRUDA, J.A.; SILVA, M.V. Formas de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba. **Revista Ciência Agronômica**, 45:417-426, 2014.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clay and Clay Minerals**, 7:317-327, 1960.
- SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 102p.
- SARAIVA, S.M. **Caracterização de luvisolos, neossolos regolíticos e planossolos ao longo de um gradiente pluviométrico no semiárido brasileiro**. 2016. 128p. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.
- SOKOLOV, I.A. The paradigm of pedology from Dokuchaev to the present day. **Eurasian Soil Science**, 29:222-232, 1996.
- USDA. **United States Department of Agriculture**. Disponível em <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref> (Acessado em jun. 2019).
- WILDING, L.P. General characteristics of soil orders and global distributions. In: SUMMER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.175-183.