

Prof. Adilson

simos down

Anais

Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros

Aracaju, SE, 28 a 30 de novembro de 2001

Editores
Fernando Luis Dutra Cintra
Joézio Luiz dos Anjos
Walane Maria Pereira de Mello Ivo



Tabuleiros Costeiros

INVESTIGAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A PEDOGÊNESE DE HORIZONTES COESOS EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DO NORDESTE DO BRASIL

José Coelho de Araújo Filho¹

Adilson Carvalho²

Fernando Barreto Rodrigues e Silva³

RESUMO - O presente estudo visa contribuir para o entendimento de processos pedogenéticos envolvidos na formação de horizontes ou camadas coesas de solos da região dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. O solo estudado, considerado representativo da região, localiza-se no município de Teotônio Vilela-AL e foi classificado como um Argissolo Amarelo Distrófico. Acredita-se que a coesão típica dos solos que integram a cobertura pedológica da região, desenvolvida na escala do tempo geológico, deve ter causas múltiplas e inter-relacionadas. Resultados preliminares (mineralógicos, micromorfológicos e ultramicroscópicos) evidenciam a presença de materiais sílico-aluminosos impregnando a matriz fina caolínica, provavelmente desempenhando papel importante na formação do horizonte ou camada coesa.

¹ MSc, pesquisador da Embrapa Solos - UEP Recife, na área de Pedologia. Rua Antonio Falcão, 402 - Boa Viagem, 51020-240 Recife-PE. E-mail: jcfilho@usp.br

² Professor Titular IGc/USP em Geoquímica de Superfície. E-mail: acarvalh@usp.br

³ Doutor, Pesquisador da Embrapa Solos - UEP Recife, na área de Pedologia. Rua Antonio Falcão, 402 - Boa Viagem, 51020-240 Recife-PE. E-mail: fbarreto@cnps.embrapa.br

Introdução

O objetivo principal deste estudo é contribuir com informações para o entendimento dos processos pedogenéticos envolvidos na formação do horizonte ou camada coesa dos solos dos tabuleiros costeiros (Figura 1) da região Nordeste do Brasil. Visando uma melhor compreensão das importantes tendências de processos pedogenéticos, no contexto regional, será feito, inicialmente, uma breve caracterização dos principais fatores correlacionados com tais processos, como é o caso de indicadores climáticos, vegetação, geologia e solos. Também serão apresentados aspectos gerais e diferenciais do horizonte ou camada coesa em relação a outros horizontes, bem como uma discussão sobre mecanismos de formação de agentes cimentantes ou de materiais endurecidos à base de sílica e alumínio.

Indicadores climáticos - A região dos tabuleiros costeiros localiza-se na faixa litorânea e atravessa ambientes úmidos, semi-úmidos e secos. Mesmo nas zonas mais úmidas, situadas na parte leste e extremo norte do Nordeste, com precipitações médias anuais na faixa de 1.000 a 2.400 mm, a contabilidade da água disponível no solo revela a ocorrência de períodos com déficit hídrico em função do regime de distribuição das chuvas e da evapotranspiração potencial muito elevada, entre 1.200 e 1.400 mm por ano (Brasil, 1983). Na zona mais seca, inserida no contexto semi-árido, as precipitações médias anuais são inferiores a 750 mm e a evapotranspiração potencial situa-se na faixa de 1.000 a 1.300 mm. Por isso mesmo, apresenta condições de déficit hídrico praticamente durante todo ano.

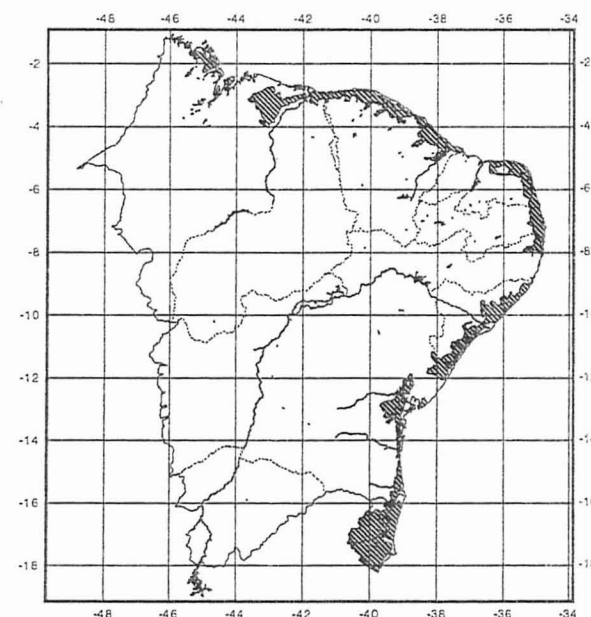


Figura 1. Localização dos tabuleiros costeiros no Nordeste do Brasil.

Esta zona localiza-se na parte centro-norte do Nordeste, entre o Rio Grande do Norte e o Ceará. O regime térmico, por sua vez, caracteriza-se pelas temperaturas elevadas, sendo a média anual entre 24 e 26 °C com pequenas oscilações térmicas (Brasil, 1983; Nimer, 1989; Silva et al., 1993).

Vegetação - A vegetação primária constitui um dos principais indicadores do regime de umidade e temperatura do solo, bem como reflete condições do clima atmosférico. Deste modo, tendo como referência a vegetação primária, é possível inferir importantes tendências de processos pedogenéticos, informações ecológicas, entre outras. As florestas, cerrados e caatingas, são as principais fases de vegetação

correlacionadas com diferentes ambientes pedoclimáticos que integram o quadro regional. As florestas variam desde as fases mais úmidas até as mais secas e correlacionam-se diretamente com os ambientes de maior umidade. Os cerrados, também inseridos nas zonas úmidas, são mais localizados, podendo ser observados em Sergipe, sul de Alagoas e na Paraíba. As formações caducifólias, como as caatingas, restringem-se às áreas do contexto semi-árido.

Geologia - Os tabuleiros costeiros, referidos ao período Terciário (1,81 a 65 Ma) (Suguio, 1999), constituem uma extensa faixa sedimentar costeira, com poucas interrupções, sendo representados geologicamente pelos sedimentos do Grupo Barreiras de natureza granulométrica variada. As paisagens típicas destes sedimentos são grandes platôs, geralmente dissecados por vales profundos e íngremes, com altitude média na faixa de 60 a 200 m. Os estratos mais superficiais correlacionados com o ambiente pedogenético compreendem materiais argilosos, argilo-arenosos, areno-argilosos e, em áreas mais restritas, sedimentos arenosos. No lado do Oceano Atlântico, os tabuleiros costeiros limitam-se com os sedimentos quaternários da planície costeira e, do lado continental, em grandes extensões, com as rochas do Pré-Cambriano (Brasil, 1983; Dantas, 1980; Embrapa, 1975).

Solos – A cobertura pedológica é constituída por solos dessaturados de bases, ácidos, e grande parte deles apresentando uma acentuada variação textural entre os horizontes superficiais (mais arenosos) e os de subsuperfície (mais argilosos). Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999) tais solos enquadram-se predominantemente na ordem dos Argissolos. Outros solos, também abrangendo grandes áreas, apresentam variações texturais menores ou de forma lenta na passagem entre horizontes e, neste caso, constituem essencialmente a ordem dos Latossolos. Em menor proporção ocorrem os solos tipicamente arenosos que são enquadrados na ordem dos Espodossolos (solos com B espódico) ou na subordem dos Neossolos Quartzarênicos (solos essencialmente arenoquartzosos). Outros, também com baixa expressão, apresentam quantidades substanciais de materiais ferruginosos (plínticos e/ou concrecionários) e integram a ordem dos Plintossolos.

As observações de campo, especialmente aquelas derivadas de diversos estudos de mapeamento pedológico, ao longo de toda região dos tabuleiros costeiros no Nordeste do Brasil, indicam que a seqüência evolutiva dos solos ocorre no sentido Latossolos = > Argissolos = > Espodossolos.

Os horizontes ou camadas coesas, típicos dos Argissolos e Latossolos, geralmente apresentam suas pedofeições mais notáveis nos solos com textura mais argilosa. Entretanto, apesar da importância sob o ponto de vista pedológico, constituem a principal causa dos impedimentos físicos para o crescimento radicular em profundidade e naturalmente reduzem a produtividade de culturas (Resende, 2000). Suas principais características e diferenciações de outros horizontes são discutidas em seguida.

Características gerais do horizonte ou camada coesa

A camada coesa, de natureza genética e típica dos Argissolos e Latossolos, geralmente apresenta expressão máxima entre 20 e 100 cm de profundidade, mas, por vezes, alcança espessuras muito maiores.

A referida camada, em condições naturais, é uma zona do perfil com maior densidade e dureza em relação as demais camadas. No estado seco, apresenta consistência dura a extremamente dura e, no estado úmido, torna-se friável. Tal característica sugere que a conservação de umidade das terras é importante, não apenas como um fator de produtividade das culturas, mas também como um condicionante na redução da resistência física à penetração de raízes. A expressão máxima da coesão, portanto, é observada no material seco e em geral ocorre nos solos mais argilosos.

A densidade média da camada coesa situa-se na faixa de 1,5 a 1,8 g/cm³, enquanto nos horizontes superficiais, em condição natural, varia de 1,2 a 1,4 g/cm³. Entretanto, especialmente na zona canavieira, a densidade média dos horizontes superficiais é muito afetada pelo manejo do solo, elevando-se para uma faixa de 1,3 a 1,8 g/cm³. Nestas condições, os horizontes superficiais tornam-se compactados ou adensados.

Além da compactação (causada pelo uso e manejo), e da coesão (de natureza genética), alguns solos, como os Argissolos Amarelos, Argissolos Acinzentados e Espodossolos, podem apresentar horizontes subsuperficiais cimentados, do tipo fragipã (cimentação fraca) ou duripã (cimentação forte). Estes horizontes criam impedimentos físicos, muito mais intensos que a coesão e normalmente restringem a drenagem interna dos solos.

A principal diferença morfológica entre o material coeso e o cimentado, é que o coeso torna-se friável quando úmido, enquanto que o cimentado permanece firme a extremamente firme, ou pode apresentar ruptura súbita, sob pressão, dependendo do grau e natureza da cimentação. Entre o coeso e o adensado (compactado), o primeiro tem natureza genética e o segundo, decorre do manejo do solo.

O diagnóstico dos diversos problemas, bem como o planejamento do uso, manejo e conservação da terras, assim como das diversas pesquisas necessárias para equacionar problemas, dependem de estudos de mapeamento de solos. São os mapeamentos que mostram a distribuição espacial dos diferentes tipos de solos bem como fornecem subsídios para interpretações de potencialidades e limitações de uso das terras.

Mecanismos de formação de agentes cimentantes ou de materiais endurecidos à base de sílica e alumínio

A sílica dissolvida na solução do solo (H_4SiO_4), assim como alumínio (Al^{3+}), poderão ser adsorvidos nas superfícies de argilas ou em outras partículas sólidas (Arias et al., 1995; Marion et al., 1976) dando origem a formação de materiais com capacidade cimentante (Thorner et al., 1987; Butt, 1983; Jongmans et al., 1994).

Um modelo proposto para explicar processos de cimentação causado por sílica (Chadwick et al., 1987) tem como base o balanço entre o teor de sílica, em solução, e a quantidade de superfícies disponíveis para deposição de sílica. O modelo mostra que a sílica dissolvida (H_4SiO_4) é adsorvida nas posições dos sítios $Al-OH$, $Si-OH$, $Fe-OH$ ou $Mg-OH$ das superfícies dos silicatos, aluminossilicatos ou sesquióxidos, sendo o processo considerado reversível. Durante os períodos de

secagem, por desidratação, novas camadas de sílica vão sendo adicionadas às superfícies (processo de polimerização) dando origem a formação dos “coatings” de sílica. Quando o fenômeno ocorre entre duas superfícies próximas, a sílica polimeriza-se formando “pontes” ligando partículas ou outros tipos de superfícies.

Particularmente nos horizontes de mais baixa permeabilidade, na fase de secagem do solo, a sílica bem com outros aluminossilicatos podem precipitar formando materiais cimentantes ou com capacidade de promover endurecimentos comumente encontrados no ambiente pedogenético (Chartres e Fitzgerald, 1990; Chadwick et al., 1987).

Diversos estudos (Chadwick et al., 1987; Chartres e Fitzgerald, 1990; Creutzberg et al., 1990; etc.) mostram a sílica, geralmente associada com teores mais baixos de alumínio, precipitada em superfícies de argilas ou em outros materiais, bem como em microporos ou ainda formando pontes entre grãos. Em solos cimentados da Austrália (Singh e Gilkes, 1993), por meio de Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET), foi possível confirmar a sílica amorfa aderida nas faces 001 de cristais da caolinita.

Um outro aspecto que influencia à precipitação da sílica é o raio de curvatura das partículas. Em superfícies com raio de curvatura negativo e de tamanho muito pequeno (como superfícies côncavas, contato entre partículas, fissuras, porosidade muito fina, etc.), a energia livre de superfície torna-se minimizada de modo que nestas áreas a sílica dissolvida facilmente precipita (Rimstidt e Cole, 1983; Dove e Rimstidt, 1994).

É importante ressaltar, conforme dados experimentais (Jones e Handreck, 1963), que o alumínio exerce uma influência marcante no comportamento da sílica. Na faixa ácida, que é a reação de domínio dos solos coesos dos tabuleiros costeiros, mesmo em quantidades muito baixas (traços), o alumínio faz a sílica coloidal precipitar. Em meio alcalino, entretanto, são necessárias quantidades muito maiores para promover a precipitação da sílica monomérica (H_4SiO_4) (Okamoto et al., 1957).

Investigações mineralógicas, microscópicas e ultramicroscópicas sobre a pedogênese de horizontes ou camadas coesas

Para o desenvolvimento do presente estudo foi selecionado um Argissolo Amarelo Distrófico, representativo dos tabuleiros costeiros, no município de Teotônio Vilela-AL. A textura superficial do solo situa-se na faixa média (20% de argila na Ap) e em subsuperfície aumenta rapidamente para a faixa argilosa (45-60% de argila no Bt). O pH, ao longo do perfil, varia na faixa de 4,6 a 5,2. Para as investigações microscópicas e ultramicroscópicas foram coletadas amostras indeformadas dentro da camada coesa na faixa de 60 cm de profundidade.

Mineralogia - A mineralogia básica dos sedimentos que dão origem ao solo coeso estudado, representativo dos tabuleiros costeiros, é relativamente simples. Na amostra total (pó) (Figura 2), os minerais dominantes são argilas do grupo da caolinita e o quartzo. Na fração argila (Figura 3), praticamente só aparece os minerais caolíniticos. Em proporções muito pequenas ou em pontos localizados também ocorrem óxidos de ferro hidratados (goetita), anatásio e prováveis componentes amorfos aos raios-X.

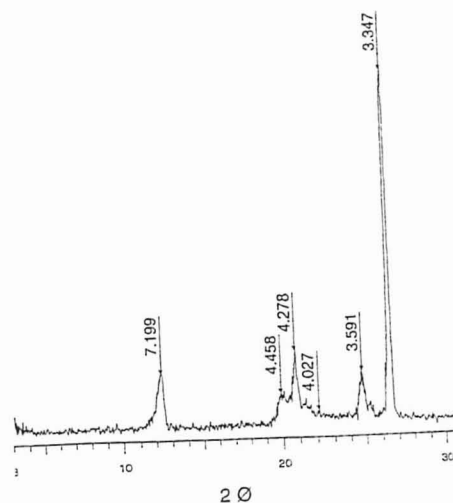


Figura 2. Difratometria de raios-X da amostra total (pó) no horizonte coeso.

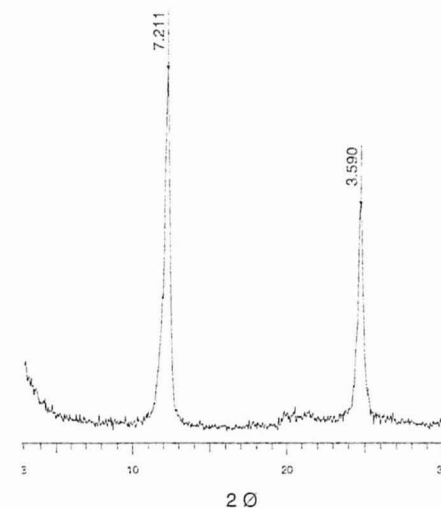


Figura 3. Difratometria de raios-X da fração argila no horizonte coeso.

Micromorfologia - Em termos micromorfológicos, a organização relacionada dos constituintes da camada coesa (Figuras 4 e 5), predominantemente é do tipo porfirosquélica (Bullock et al., 1985; Brewer, 1964). Esta organização caracteriza-se por apresentar um plasma denso, bruno-amarelado, embebendo grãos esqueletais, compondo uma estrutura geral de forma massiva. Sob luz polarizada, o plasma, em geral, apresenta cores de interferência relativamente baixas, isto é, com grandes domínios escuros. Este aspecto de modo geral é indicativo da organização randômica dos minerais de argila que ainda podem conter impregnações de materiais amorfos reduzindo a birrefringência total. A fração grossa é composta essencialmente de grãos de quartzo, com maior frequência na faixa de 10 a 150 μm , por vezes, impregnados com materiais escuros. Na fração fina, também com presença de pontuações escuras, as separações plásmicas mais comuns são do tipo granossépicas. Poucas feições pedológicas notáveis foram observados. Constataram-se pontos raros a ocasionais (<5%) com presença de concentrações ferruginosas bem como materiais finos diversos preenchendo poros. As manchas ferruginosas, com tamanho geralmente inferior a 20 μm , ocorrem dispersas irregularmente na matriz fina e diferenciam-se dos outros componentes da mesma fração, em função da coloração avermelhada

e da forma arredondada com bordas nítidas a difusas. Os preenchimentos de poros (argilans, silans e/ou ferriargilans) mostram, em geral, uma organização com aspecto microlaminado crescentiforme. Estas feições, embora muito localizadas, são indicativas tanto de fenômenos de oxirredução (concentrações ferruginosas) como de materiais de iluviação (acúmulo de materiais finos preenchendo poros) na camada coesa.

Ultramicroscopia - Visando conhecer a composição percentual elementar dos constituintes do horizonte coeso, estudados pela microscopia ótica, foram desenvolvidas microanálises por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em fragmentos revestidos com carbono ou ouro. As microanálises foram realizadas em sistema EDS (Energy Dispersive System) e as imagens foram geradas com detector de elétrons secundários (SE).

As microanálises obtidas, ainda de forma preliminar, mostram composições pontuais diversificadas. Em geral, os exames na fração mais fina, revelam proporções de sílica (Si) mais elevadas do que as de alumínio (Al) sugerindo, portanto, a presença de materiais sílico-aluminosos divergentes da composição típica dos materiais caoliníticos (Figura 6).



Figura 4. Fotomicrografia (microscópio petrográfico, luz normal) de horizonte coeso com textura porfirósquela e tendo a presença de impregnações escuras dispersas.

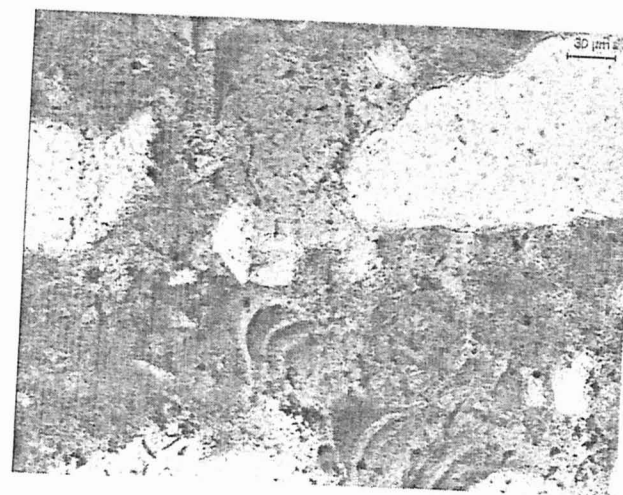


Figura 5. Fotomicrografia (microscópio petrográfico, luz normal) de horizonte coeso apresentando textura porfirósquela, materiais finos preenchendo poros e algumas pontuações escuras dispersas.

Este fato, provavelmente, deve estar relacionado à retenção de materiais sílico-aluminosos amorfos na camada coesa, conforme também foram indicativas as observações micromorfológicas. Em proporções muito menores verificou-se casos pontuais com Al predominando sobre Si, assim como também pontos com elevadas concentrações ferruginosas, conforme notadas pela microscopia ótica. Nos pontos com altos teores de Fe os valores de Al, em geral, mostraram-se superiores aos de Si (Figura 7).

Os pontos com predomínio de Al sobre Si, provavelmente referem-se aos sítios onde o alumínio é adsorvido em maior quantidade pelas superfícies dos argilominerais. As concentrações ferruginosas, devem estar relacionados com a segregação e concentração pontual do Fe durante os processos temporários de oxirredução que ocorrem na camada coesa no período de concentração das chuvas. Nestes períodos, face às restrições de permeabilidade da camada, ocorrem situações com e sem excesso de umidade (condições oxirredutoras).

Macromorfológicamente pode-se observar alguns sinais destas situações oxirredutoras pela presença de alguns mosqueados freqüentemente encontrados na zona da camada coesa.

Relação Si:Al - A variação da relação Si:Al (% em peso) (Figura 8), que pode ser indicativa de composições mineralógicas, foi estabelecida com base nas microanálises realizadas na matriz mais fina onde os minerais de argila dominantes são do grupo da caolinita conforme demonstram resultados obtidos por raios-X (Figura 3). Os valores da relação (Figura 8), com maior freqüência, situam-se ao redor de 1,6, sendo, portanto, superiores aos dos minerais caoliníticos cujo valor aproximado é de 1,04. Poucos pontos mostram relação Si:Al similar à caolinita ou com predominância de Al. Em solos da Austrália (Chartres e Norton, 1994; Chartres e Fitzgerald, 1990) com consistência muito rígida no estado seco (hardsetting), constatou-se pequenas quantidades de sílica assim como de aluminossilicatos amorfos impregnando argilas e outros materiais da matriz. Nestes casos foi atribuído à sílica o papel principal da cimentação temporária.

Também foram analisadas pontes ligando grãos as quais mostraram elevadas concentrações de sílica com relação Si:Al na faixa de 3 a 15.

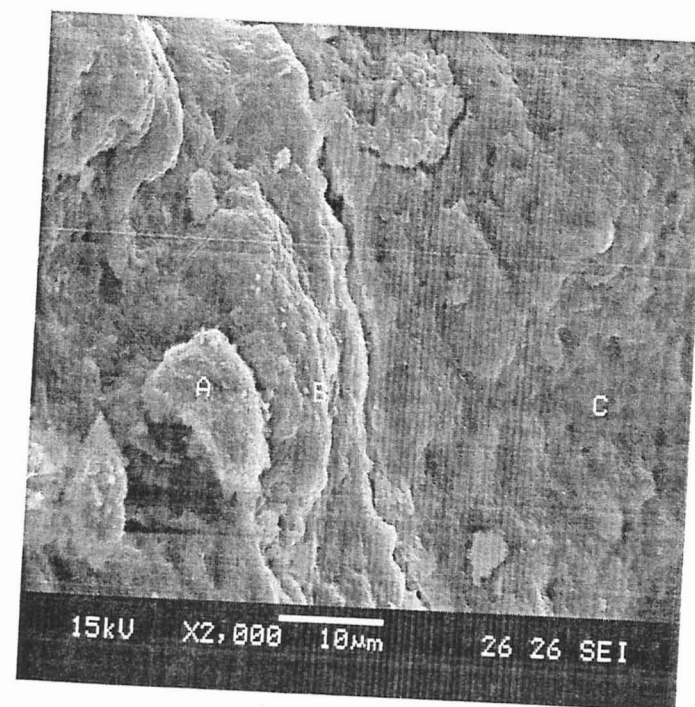


Figura 6. Fotomicrografia (MEV) da fração fina de horizonte coeso mostrando pontos com predomínio de Si (A: Si=51,61 e Al=31,69%; B: Similar ao ponto A; C: Si=32,72 e Al=22,91%).

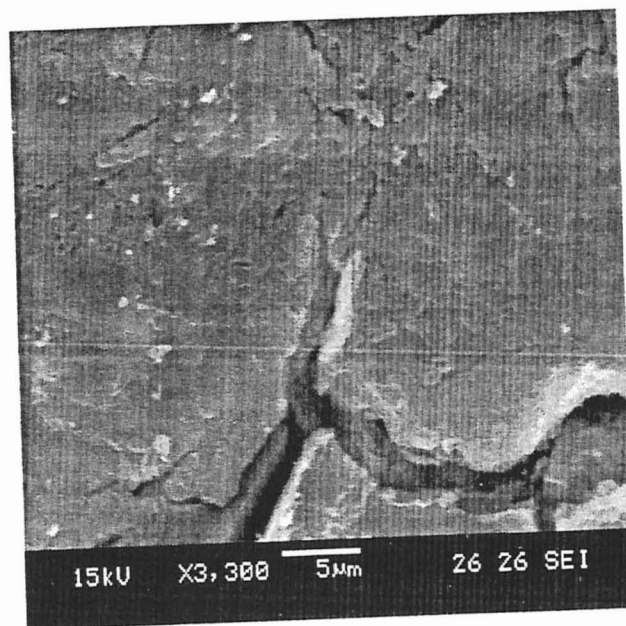


Figura 7. Fotomicrografia (MEV) da fração fina de horizonte coeso com altas concentrações ferruginosas (Fe=89,59, Si=3,95 e Al=6,46%).

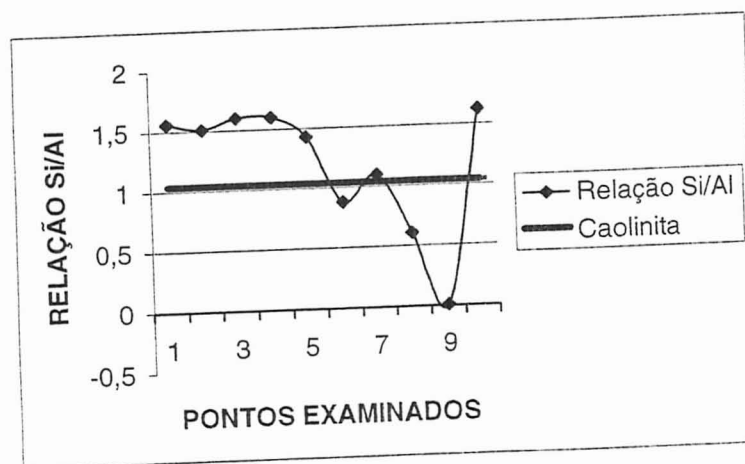


Figura 8. Variação da relação Si/Al na matriz fina do horizonte coeso.

Os resultados do presente estudo, mesmo com a relação Si:Al relativamente baixa, e de forma preliminar, são indicativos da presença de materiais silico-aluminosos impregnando a matriz fina, uma vez que a relação Si:Al diverge da caolinita. Provavelmente, trata-se de substâncias amorfas impregnando a matriz caolínica e/ou podendo ainda formar "coatings" na fração grosseira do horizonte coeso. No estudo de horizontes cimentados da região (tipo duripãs), Silva et al. (1997) afirmam que os agentes responsáveis pela cimentação são Al, Si e Fe na forma amorfa. Por sua vez, Boulet et al. (1998), consideram que em sistemas fragipãs/duripãs da mesma região, os agentes cimentantes são complexos organo-metálicos envolvendo Al, Si e Fe. Em solos dos estados de Alagoas e Sergipe, também no mesmo contexto regional, Jacomine (1974) observa que, entre outros fatores, Si e Al "livres" são importantes elementos envolvido na gênese de fragipãs.

Considerações sobre o papel da sílica e alumínio na camada coesa - Tendo em vista que a sílica e outros aluminossilicatos exercem propriedades cimentantes ou de endurecimento, no período de secamento do solo, particularmente nos horizontes de mais baixa permeabilidade (Chartres e Fitzgerald, 1990; Chadwick et al., 1987), como é o caso da camada coesa dos solos dos tabuleiros costeiros, infere-se que o excesso de Si e/ou Al detectado pelas microanálises deve atuar como possível agente que contribui para o endurecimento típico da camada coesa. O período seco que favorece o processo de polimerização e precipitação da sílica e de outros constituintes silico-aluminosos amorfos, correlaciona-se com a fase de expressão máxima da coesão. No período úmido, por outro lado, a despolimerização da sílica e de outros aluminossilicatos, deve contribuir para a condição de friabilidade do material. Entretanto deve-se ressaltar que estudos mais pormenorizados são necessários para comprovar ou descartar estas inferências.

Considerações finais

Com base nos resultados obtidos, ainda que preliminares, e tendo com suporte dados de literatura e observações de campo, acredita-se que a coesão típica dos solos que integram a cobertura pedológica da região dos tabuleiros costeiros, desenvolvida na escala do tempo geológico, deve ter causas múltiplas e inter-relacionadas. Entre estas, relacionam-se:

1 - A sílica e outros aluminossilicatos exercem propriedades cimentantes ou de endurecimento, no período de secamento do solo, particularmente nos horizontes de mais baixa permeabilidade. Sendo assim, com base nos resultados obtidos infere-se que o excesso de Si e/ou Al detectada pelas microanálises, provavelmente deve atuar como agente que contribui para o endurecimento temporário, típico da camada coesa, conforme o grau de umidade do solo;

2 - A condição reversível de polimerização e precipitação da sílica e/ou materiais sílico-aluminosos no período seco, com a despolimerização no período úmido (Chadwick et al., 1987), provavelmente deve ser um importante mecanismo de funcionamento da camada coesa. O período seco, isto é, na fase em que a sílica e outros constituintes sílico-aluminosos encontram-se precipitados, correlaciona-se com a fase de máxima expressão da camada coesa. A grande rigidez que a camada atinge na época seca também deve estar relacionada ao poder adesivo das ligações covalentes ou quase-covalentes (Chadwick e Nettleton, 1990), que são ligações muito fortes, estabelecidas na polimerização e precipitação da sílica ou alumínio, com as superfícies (grupos Si-OH, Al-OH, etc.) dos minerais. No período úmido, por outro lado, a despolimerização da sílica e de outros agentes coesivos, deve contribuir para a condição de friabilidade do material;

3 - O adensamento natural do material constitutivo da camada coesa (1,5 a 1,8 g/cm³) deve ter contribuição do acúmulo de materiais finos e do arranjo massivo das partículas, conforme observado pela microscopia ótica. Tais condições propiciam aumento da porosidade fina, minimizam a energia livre e possibilitam melhores condições para precipitação da sílica e/ou materiais sílico-aluminosos, que são agentes envolvidos na ação de endurecimento da camada;

4 - Devido às restrições de permeabilidade da camada coesa, o movimento das soluções torna-se mais lentos, favorecendo a retenção e precipitação da sílica e/ou de outros materiais sílico-aluminosos no período de secagem do solo (Chartres e Fitzgerald, 1990);

5 - Os maiores percentuais de argila, e por conseguinte, das áreas disponíveis para precipitação da sílica e/ou materiais sílico-aluminosos em solução, dependendo da disponibilidade dos agentes coesivos, podem condicionar maior expressão à coesão (Chadwick et al., 1987), conforme observa-se normalmente no campo.

Literatura citada

- ARIAS, M.; BARRAL, T.; DIAZ-FIERROS, F. Effects of iron and aluminium oxides on the colloidal and surface properties of kaolin. *Clays and Clay Minerals*. 43:406-416, 1995.
- BOULET, R.; FRITSCH, E.; FILIZOLA, H.F.; ARAÚJO FILHO, J.C. de; LEPRUN, J.C.; SILVA, F.B.R.; BALAN, E.; TESSIER, D. Iron band, fragipans, and duripans in the northeastern plateaus of Brazil: properties and genesis. *Canadian Journal of Soil Science*. 78:519-530, 1998.
- BREWER, R. Fabric and Mineral Analysis of Soils. New York, John Wiley & Sons. 470p, 1964.

- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T.; BABEL, U. Handbook for soil thin section description. Wolverhampton, Waine Research Publications. 152p, 1985.
- CHADWICK, O.A.; HENDRICKS, D.M.; NETTLETON, W.D. Silica in duric soils: I. A depositional model. *Soil Science Society of American Journal*. 51:975-982, 1987.
- CHADWICK, O.A.; NETTLETON, W.D. Micromorphologic evidence of adhesive and cohesive forces in soil cementation. In: DOUGLAS, L.A. (ed.). *Soils micromorphology: a basic and applied science*. Amsterdam, Elsevier. p.207-212, 1990.
- CHARTRES, C.J.; FITZGERALD, J.D. Properties of siliceous cements in some australian solis and saprolites. In: DOUGLAS, L.A. (ed.). *Soils micromorphology: a basic and applied science*. Amsterdam, Elsevier. p.199-205, 1990.
- CHARTRES, C.J.; NORTON, L.D. Micromorphological and chemical properties of australian soils with hardsetting and duric horizons. In: RINGROSE-VOASE, A.J.; HUMPHREYS, G.S. *Soil micromorphology: studies in management and genesis*. Amsterdam, Elsevier. p.825-834, 1994.
- CREUTZBERG, D.; KAUFFMAN, J.H.; BRIDGES, E.M.; GUILLERMO DEL POSSO M. Micromorphology of "cangahua": a cemented subsurface horizon in soils from Ecuador. In: DOUGLAS, L.A. (ed.). *Soils micromorphology: a basic and applied science*. Amsterdam, Elsevier. p.367-372, 1990.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto Radambrasil Fô-lhas SC 24/25 Aracaju/Recife: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: MME/Secretaria-Geral, 1983. 856p. il., 7 mapas. (Levantamento de Recursos Naturais, 30).
- BUTT, C.R.M. Aluminosilicate cementation of saprolites, grits and silcretes in Western Australia. *Journal of the Geological Society of Australia*. 30:179-186, 1983.

- DANTAS, J.R.A. Mapa geológico do Estado de Pernambuco. Recife, DNPM. 112p. il. 2 mapas, 1980.
- DOVE, P.M.; RIMSTIDT, J.D. Silica-water interactions. In: HEANEY, P.J.; PREWITT, C.T.; GIBBS, G.V. (eds.). *Silica: physical behavior, geochemistry and materials applications*. Washington D.C., Mineralogical Society of America. p.259-308. (Reviews in Mineralogy), 1994.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 412p., 1999.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Alagoas*. Recife. 532p. (EMBRAPA-CCP. Boletim Técnico, 35; SUDENE. Série Recursos de Solos, 5), 1975.
- JACOMINE, P.K.T. *Frafi-pans em solos de "tabuleiros": características, gênese e implicações no uso agrícola*. 83p. (Tese de Livre Docência), 1974.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Effects of iron and aluminium oxides on silica in solution in soils. *Nature*. 198: 852-853, 1963.
- JONGMANS, A.G.; OORT, F.V.; BUURMAN, P.; JAUNET, A.M. Micromorphology and submicroscopy of isotropic and anisotropic Al/Si coatings in Quaternary Allier terrace, (France). In: RINGROSE-VOASE, A.J.; HUMPHREYS, G.S. *Soil micromorphology: studies in management and genesis*. Amsterdam, Elsevier. p.285-291, 1994.
- MARION, G.M.; HENDRICKS, D.M.; DUTT, G.R.; FULLER, W.H. Aluminum and silica solubility in soils. *Soil Science*. 121:76-85, 1976.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. (2.ed.). Rio de Janeiro, IBGE. 421p, 1989.
- OKAMOTO, G.; OKURA, T.; GOTO, K. Properties of silica in water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 12:123-132, 1957.

- RIMSTIDT, J.D.; COLE, D.R. Geothermal mineralization I: the mechanism of formation of the Beowawe, Nevada, siliceous sinter deposit. *American Journal of Science*. 283:861-875, 1983.
- RESENDE, J. de O. **Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador, SEAGRI-SPA. 117P. (Série Estudos Agrícolas, 1), 2000.
- SILVA, F.B.R.; LEPRUN, J.C.; BOULET, R. Duripãs em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil: mineralogia, micromorfologia e gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: SBCS; EMBRAPA/CNPS, 1997. CD-ROM, 1997.
- SILVA, F.B.R. e; RICHÉ, G.R.; TONNEU, J.P.; SOUZA NETO, N.C. de; BRITO, L.T. de; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B. da; SILVA, A.B. da; ARAÚJO FILHO, J.C. de; LEITE, A.P. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA-CNPS. 2v. (Convênio EMBRAPA-CPATSA/ORSTON-CIRAD. Documentos, 80), 1993.
- SINGH, B.; GILKES, R.J. The recognition of amorphous silica in indurated soil profiles. *Clay Minerals*. 28:461-474, 1993.
- SUGUIO, K. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais (passado + presente = futuro?)**. São Paulo, Paulo's Comunicação e Artes Gráficas. 366p, 1999.
- THORNBUR, M.R. BETTENAY, E.; RUSSELL, W.G.R. A mechanism of aluminosilicate cementation to form hardpan. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 51:2303-2310, 1987.

MESA-REDONDA 3

METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DO GRAU DE ADENSAMENTO DOS HORIZONTES COESOS

Moderador: Dr. Francisco Sandro Rodrigues Holanda (UFS)