



Gênese de solos salinos em climosequência Árido – Hiperárido no Deserto do Atacama, norte do Chile⁽¹⁾.

Davi Feital Gjorup⁽²⁾; Carlos Ernesto G. R. Schaefer⁽³⁾; Márcio Rocha Francelino⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da CAPES.

⁽²⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, MG; davifeitalgjorup@gmail.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos; Universidade Federal de Viçosa.

RESUMO: Os desertos são ecossistemas importantes e pouco conhecidos do ponto de vista pedológico. Há grandes lacunas no conhecimento a respeito dos solos e processos pedogenéticos tipicamente áridos. Neste trabalho se investigou a pedogênese de solos salinos em uma climosequência árido – hiperárido no Deserto do Atacama, através da mineralogia e microquímica dos solos. Foram coletados dois perfis de solo, um submetido a clima árido e outro a hiperárido. A mineralogia foi analisada a partir de difratometria de Raios-X, e a microquímica a partir de dados de microscopia eletrônica (MEV/EDS). Ambos os solos apresentam características típicas de solos desérticos, em que a acumulação de sais é evidente. Os solos são constituídos de frações grosseiras silicatadas cimentadas por matriz salina. A natureza dos sais da matriz variou entre os dois solos. No solo sob clima árido predomina matriz dominada por carbonato de cálcio. No solo sob clima hiperárido a matriz é composta por sulfetos de cálcio e dominada por gipsita. As diferenças de solubilidade dos cimentos permitem verificar que os dois solos apresentam diferenças dentro de uma tendência geral de salinização. No solo árido verifica-se algum grau de lixiviação, possibilitando a acumulação de cimento moderadamente solúvel. No clima hiperárido a virtual ausência de lixiviação permitiu a acumulação de cimento com alta solubilidade. Verifica-se, portanto, uma variação no processo de salinização dentro do espectro climático da climosequência no Deserto do Atacama.

Termos de indexação: Aridisol, Solos Salinos, Atacama.

INTRODUÇÃO

As zonas áridas correspondem a mais de 30 % das terras emersas do globo (Dregne, 1976; Dixon, 2009; Laity, 2008). Os desertos e semidesertos compõem um dos mais extensos biomas do planeta, e são altamente diversificados (Laity, 2008). Apesar da importância das regiões áridas, muito pouco se sabe a respeito destes

ecossistemas. De acordo com Dregne (1976), é observada uma deficiência crônica de conhecimento a respeito de recursos biológicos e físicos de zonas áridas. Do ponto de vista pedológico, áreas desérticas correspondem a grandes lacunas do conhecimento. Em geral, quanto maior a aridez menos informação é disponível a respeito dos solos (Dregne, 1976). A abordagem estritamente agrônômica que dominou a ciência do solo durante quase toda a sua história limitou o conhecimento a respeito de solos de zonas áridas, uma vez que poucos estudos pedológicos foram efetuados em regiões extremamente áridas. Desta forma, os estudos a respeito de Aridisols (ordem de solo do sistema *Soil Taxonomy* característica de zonas áridas) são significativamente pouco frequentes quando comparados com outras ordens de solo, e muitos processos pedogenéticos de ambientes áridos não são suficientemente estudados, conhecidos e compreendidos (Howell, 2009; Laity, 2008). Este trabalho pretende discutir a gênese de dois solos desenvolvidos sob clima seco no Deserto do Atacama, norte do Chile, com base em aspectos mineralógicos e microquímicos.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo representa uma climosequência na zona árida - hiperárida do Deserto do Atacama, norte do Chile. O deserto do Atacama é uma região extrema dentre as regiões áridas do planeta, em função da atuação conjunta de diversos fatores determinantes de aridez, como proximidade a correntes oceânicas frias (Corrente de Humboldt), localização em uma sombra de chuvas da cordilheira dos Andes, e localização na subsidência atmosférica subtropical (Laity, 2008). Além de ser o deserto mais seco do planeta, o Deserto do Atacama é a mais antiga região árida conhecida, com mais de 25 milhões de aridez contínua (Clarke, 2006). Os solos do Atacama são únicos no sentido de que silicatos e sais se acumularam por longos períodos com perdas negligenciáveis por intemperismo (Laity, 2008). Em função da extrema aridez, nos solos do Deserto do Atacama se acumularam sais pouco comuns (percloratos, iodatos, boratos e nitratos), além de sais



relativamente comuns (halita, gipsita e anidrita) (Clarke, 2006).

Os solos foram coletados em abril de 2014, considerando a diferenciação morfológica dos horizontes.

O solo AT15 foi coletado na depressão de San Pedro de Atacama, em um depósito de pedimento dissecado, formando um nível de terraço pedregoso, a uma altitude de 2448 m. Esta região experimenta um clima árido.

O solo AT18 foi coletado na depressão de Calama, a 2134 m de altitude, em um depósito de pedimento na área central do deserto. Esta região está submetida a um clima hiperárido.

A análise mineralógica foi realizada em material integral. A única separação de frações foi efetuada por peneiramento. Para tanto, o material foi peneirado em peneira de 2 mm, para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar. A terra fina foi macerada em almofariz de ágata e peneirada em peneira de 0.074 mm. As duas últimas tapas (maceração e peneiramento) provavelmente foram responsáveis por uma seleção do material com menor dureza, que passou a responder com maior proporção no material fino analisado. Minerais primários mais duros, como o quartzo, provavelmente foram eliminados nestas etapas. O material fino obtido foi então prensado a uma pressão de 4 t, para a obtenção de pastilhas homogêneas. As pastilhas foram analisadas no Difratomômetro de Raios-X do Laboratório Nacional de Luz de Síncrotron, em uma faixa de leitura de 3 a 80 °2 θ . O comprimento de onda da radiação emitida pelo aparelho é de 1.7712 Å, a uma E de 7 keV. Os difratogramas foram interpretados com o uso da tabela de interpretação de padrões de difração de Raios-X de Chen (1977). Para as análises microquímicas foram coletadas amostras indeformadas de horizontes selecionados. As amostras foram cortadas e polidas, para montagem de seções finas em lâminas de vidro. As lâminas, revestidas de carbono, foram analisadas utilizando microscópio eletrônico de varredura com microsonda acoplada (MEV/EDS) no Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa, com filamento de W. Utilizou-se uma magnificação de 100 X, a uma energia de 20 kV, e uma distância focal de 15 mm.

RESULTADOS

Os dois solos analisados apresentam características típicas de solos desérticos desenvolvidos sob clima seco. Dentre estas características podem ser citados cimentação dos horizontes subsuperficiais, acumulação de sais, desenvolvimento de pavimento epipedregoso (*desert pavement*), evidências de atuação de processos eólicos em

superfície, e baixo desenvolvimento. Ambos os perfis foram classificados como Aridisols pelo sistema *Soil Taxonomy* (SSS, 2010), por estarem submetidos a um regime de umidade árido, apresentarem um epipedon ócrico, e um horizonte diagnóstico (petrocálcico em AT15 e petrogípsico em AT18) dentro de 100 cm de profundidade.

O perfil AT15 apresenta caráter esquelético, com alta proporção de clastos rolados nas frações cascalho, calhau e matacão. O horizonte A é composto por depósitos eólicos, e a sequência de horizontes C evidenciam cimentação. Todos os horizontes apresentaram efervescência à solução de HCl, apontando para a presença de carbonatos. A mineralogia é dominada por cimento carbonático, especialmente calcita (CaCO₃) (Figura 1). Os dados microquímicos do horizonte C_{km} indica a ocorrência de cimento carbonático, com Ca, C e O, suportando clastos silicatados, compostos basicamente por Si e O (Figura 3 e Tabela 1). Portanto, este solo é interpretado como sendo composto por clastos grosseiros de minerais primários (principalmente quartzo) pouco ou nada alterados, com matriz cimentante composta por carbonato de cálcio (calcita).

No AT18 é observado desenvolvimento de pavimento epipedregoso. Os difratogramas da amostra AT18 C_{ym} apontam para a ocorrência de sulfatos de cálcio, especialmente Gipsita bi-hidratada (CaH₂O₆S) (Fig. 2). Os dados microquímicos apontam para a ocorrência de matriz composta por Ca, S e O, envolvendo clastos silicatados de composição mais complexa, com Si, Al e K (Figura 4 e Tabela 1). Este solo é interpretado como sendo composto por clastos grosseiros de tectosilicatos primários (tendendo para feldspatos), em que as únicas evidências de alteração são de intemperismo físico (clastos fraturados), sendo cimentados por matriz de sulfato de cálcio (gipsita).

DISCUSSÃO

Os dados apresentados sugerem que a acumulação de sais é o principal processo pedogenético na zona árida – hiperárida em foco neste trabalho. Em geral, os solos são pouco desenvolvidos, e a presença de fração grosseira pouco alterada indica que as alterações químicas do material de origem – depósitos de pedimentos – é pouco atuante. A presença, em ambos os solos, de matriz cimentante salina indica que a adição e acumulação de sais são processos importantes no desenvolvimento destes solos.

A composição mineralógica dos solos, com o predomínio de fases minerais com alta solubilidade,



corroborar a tese de que a acumulação de sais é o principal processo pedogenético atuante na gênese destes solos. A composição química indicada pelos dados microquímicos evidencia que estas fases solúveis compõem uma matriz que cimenta clastos silicatados pouco alterados (Figuras 3 e 4, Tabela 1).

As diferenças na solubilidade dos minerais que compõem a matriz cimentante nos dois solos permite inferir processos pedogenéticos distintos, dentro de uma mesma tendência geral de salinização. A predominância de cimento carbonático no AT15 (calcita, $\log K^0 = 9.74$) (MELLO e PEREZ, 2009) sugere que incide algum grau de lixiviação seletiva neste solo submetido a clima árido, suficiente para a remoção do sistema de fases minerais mais solúveis, mas não suficiente para a remoção de minerais com solubilidade moderada, ao menos sob clima árido, resultando na aludida matriz carbonática. A matriz sulfática no AT18 (gipsita, $\log K^0 = -4.64$) (MELLO e PEREZ, 2009) aponta para taxas de lixiviação extremamente baixas neste solo sob clima hiperárido, que não é suficiente para a remoção mesmo de fases minerais muito solúveis, resultando na acumulação de cimentos gipsíferos.

CONCLUSÕES

Os solos na cimossequência árido – hiperárido se desenvolvem pelo processo ativo de salinização, em que o acúmulo de fases minerais solúveis, sobre um substrato quimicamente pouco alterado é o mais importante processo de formação.

Este processo resulta em solos constituídos por clastos silicatados cimentados por matriz carbonática ou sulfática.

A natureza dos sais que compõem a matriz é função do clima. Sob clima árido predomina calcita, com solubilidade moderada, em função lixiviação diferencial de fases mais solúveis; sob hiperárido predomina gipsita, com alta solubilidade, em função de uma virtual ausência de lixiviação.

Verifica-se, portanto, uma variação no processo de salinização dentro do espectro climático da climossequência.

REFERÊNCIAS

- CHEN, P. Y. **Table of Key Lines in X-ray Powder Diffraction Patterns of Minerals in Clays and Associated Rocks**. Bloomington, Indiana: Department of Natural Resources, 1977. (Geological survey occasional paper 21).
- CLARKE, J. D. A. Antiquity of aridity in the Chilean Atacama Desert. **Geomorphology**. v. 73, p. 101 – 114, 2006.
- DIXON, J. C. Aridic Soils, Patterned Ground, And Desert Pavements. In: PARSONS, A. J.; ABRAHAMS, A. D. (eds.) **Geomorphology of Desert Environments**. 2a ed. Springer, 2009. p. 101 – 122.
- DREGNE, H. E. **Soils of Arid Regions**. Amsterdam: Elsevier, 1976. 237 p. (Developments in Soil Science, 6).
- HOWELL, M. S. **Mineralogy and Micromorphology of an Atacama Desert soil, Chile**: A model for hyperarid pedogenesis. UNLV Theses/Dissertations/Professional Papers/Capstones. Paper 52. 2009.
- LAITY, J. **Deserts and Desert Environment**. 3a ed. Wiley-Blackwell, 2008.
- MELLO, J. W. V. & PEREZ, D. V. Equilíbrio químico das reações no solo. In: MELO, V. F. & ALLEONI, L. R. F. (ed.) **Química e mineralogia do solo**. Parte I: conceitos básicos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. P. 151 – 250.
- Soil Survey Staff. **Keys to Soil Taxonomy**. Eleventh Edition. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2010.

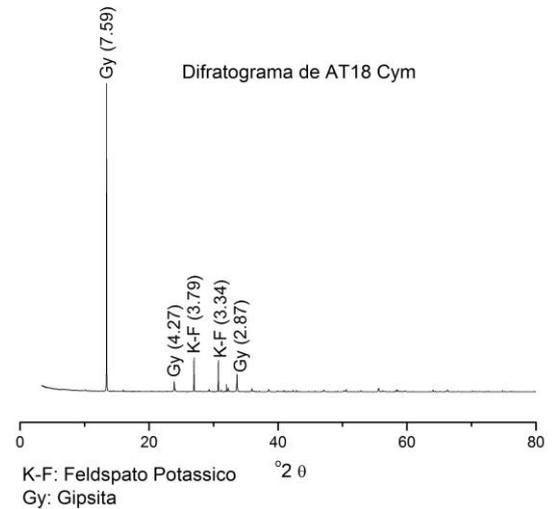
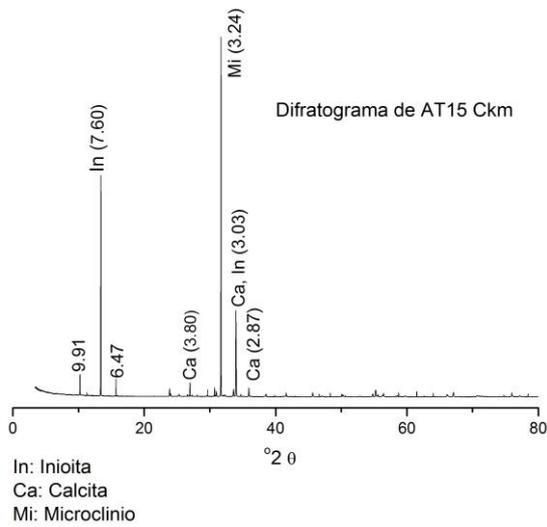


Figura 1: Difratograma do material integral do horizonte Ckm de AT15

Figura 2: Difratograma do material integral do horizonte Cym de AT18

Tabela 1: Análise de EDS das feições micropedológicas observadas nos solos

Elemento	Amostra					
	AT15 Ckm			AT18 Cym		
	Total	Cimento	Clasto	Total	Cimento	Clasto
	% massa					
Si	16.35	0.37	30.30	7.49	2.69	29.35
O	39.48	43.97	38.53	31.00	28.84	37.96
K	1.11	0.00	3.33	0.61	0.24	2.89
Al	5.44	0.47	10.3	2.86	1.13	11.84
C	21.71	9.41	7.79	40.52	39.74	14.49
Ca	12.61	43.42	2.12	7.49	12.98	0.07
S	0.34	0.17	0.04	7.51	12.23	0.09

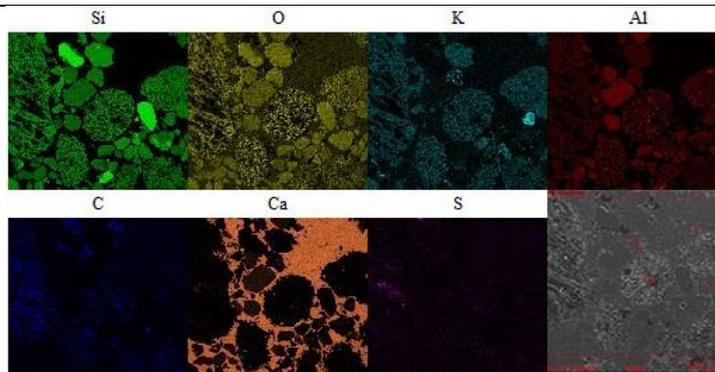


Figura 3: Mapas microquímicos de AT15 evidenciando clastos silicatados envolvidos por cimento carbonático.

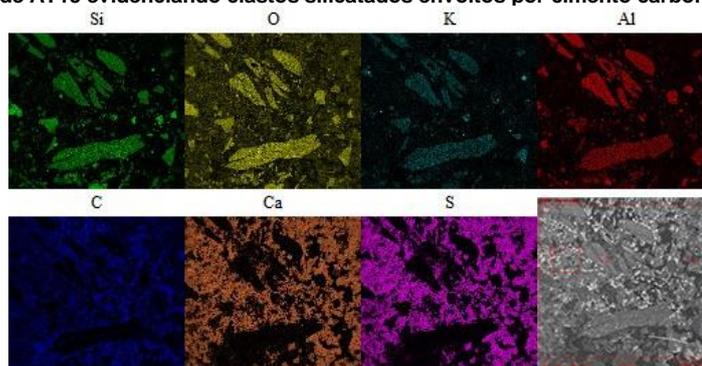


Figura 4: Mapas microquímicos de AT18 evidenciando clastos silicatados envolvidos por cimento de gipsita.