

**CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E
MINERALÓGICAS DE SOLOS TIOMÓRFICOS DO ESTADO DO
ESPÍRITO SANTO - BRASIL E DE CÓRDOBA - COLÔMBIA.**

**CHARACTERIZATION OF PHYSICAL, CHEMICAL, AND MINERALOGICAL
PROPERTIES OF ACID SULFATE SOILS OF THE STATE OF
ESPIRITO SANTO - BRAZIL AND CÓRDOBA - COLOMBIA.**

Enrique M. Combatt.¹; João L. Lani.²; Victor H. Alvarez V.²

Data de recepção: 16 de outubro de 2013

Data de Aceitação: 03 de dezembro de 2013

RESUMO

A influência de condições sulfato redutoras nas propriedades físicas, químicas e na mineralogia da fração argila de seis perfis foi estudada, visando realizar uma análise dos solos tiomórficos do Brasil, na região do Vale do Suruaca, Linhares, Espírito Santo e na Colômbia, no Vale do Rio Sinú, Córdoba. Com o trabalho, objetivou-se caracterizar os solos tiomórficos, visando fornecer informações para a definição de práticas de manejo que permitam a sustentabilidade da produção agrícola nesses solos. A definição e descrição das áreas estudadas deram-se por meio de foto-interpretação e trabalhos de coleta de campo, procedendo-se posteriormente a análises de solos em laboratório do material coletado. Devido à distribuição de silte e areia netes solos, a análise física os caracterizou basicamente como: de textura franco argilo arenoso e franco siltosa.. Quimicamente, os solos têm características salinas, com presença de tiomorfismo e ambiente extremamente ácido, com altos teores de alumínio trocável, não obstante do grande conteúdo de bases. A assembleia mineralógica da fração argila é composta por argilominerais vermiculita, illita e caulinita e a da fração areia por quartzo e mica muscovita.

Palavras chave: Pirita, minerais, acidez potencial, alumínio.

1 Professor do Departamento de Ingeniería e desarrollo Rural, I.A. Ph.D., Universidad de Córdoba - Colombia, ecombatt@hotmail.com

2 Professores do Departamento de Solos, I.A. Ph.D., Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa (MG).

ABSTRACT

The influence of sulfate reduction conditions on the physical, chemical, and clay and sand mineralogical properties of six soil profiles was studied, in order to perform an analysis of the acid sulfate soils in the valley of Suruacá and Linhares in the state of Espírito Santo, Brazil, and in the Sinú river valley in Córdoba, Colombia. The work was aimed at characterizing acid sulfate soils in order to provide information on management practices that enable sustainability of agricultural production these soils. The definition and description of the study areas was carried out through photo interpretation and field work, followed by a laboratory analysis of the collected soil. The physical analysis of these soils characterized them as sandy clay loam and silty loam texture, due to a high distribution percentage of silt and sand in the soils. Chemically, the soils have saline characteristics, with presence of oxidation and reduction processes, as well as an extremely acid environment with high levels of exchangeable aluminum, notwithstanding the high base content. The clay fraction mineralogy is composed of vermiculite, illite, and kaolinite minerals and the sand fraction is composed of sand quartz and muscovite mica.

Keywords: Pyrite, minerals, potential acidity, aluminum.

INTRODUÇÃO

Solos tiomórficos ou solos ácidos sulfatados caracterizam-se por apresentarem altos teores de sulfeto de ferro, principalmente a pirita. A denominação de solo tiomórfico atende às características de salinidade causada pelos sais de S, Fe e Al, formados durante sua gênese, e a elevada acidez causada pela oxidação dos sulfetos de Fe presentes nestes solos (Dent, 1986).

A oxidação dos sulfetos pode levar a formação do H_2SO_4 que, em quantidades elevadas, provoca acidez excessiva, com efeitos negativos sobre as principais características do solo (Pons, 1973). Smith *et al.* (2003) avaliando a acidez que se pode ser gerada nestes solos, encontraram valores equivalentes de 0 a 72 t ha⁻¹ de H_2SO_4 em áreas costeiras da Austrália. Dent (1986) expõe que o baixo pH, menor que 3,5, é gerado pela

oxidação de sulfetos, principal característica do horizonte sulfúrico. Além disso, este horizonte funciona como uma barreira química ao desenvolvimento do sistema radicular de plantas, limitando o volume de solo explorado pelas raízes e restringindo, assim, o desenvolvimento normal das plantas (Fitzpatrick *et al.*, 1993).

Dent e Dawson (2000) demonstraram que a drenagem artificial desses solos, objetivando o cultivo agrícola, permite maior oxigenação, acelerando a oxidação dos sulfetos de Fe e produzindo maior acidez. Como consequência, algumas camadas de solo apresentam valores de pH inferiores a 3,5.

Blunden *et al.* (2000) mostraram que a oxidação da pirita, quando exposta ao oxigênio atmosférico (O_2) ou outros agentes oxidantes, resulta na liberação de Fe, Al, H e sulfetos. Isto favorece a produção de ácido

sulfúrico, principalmente quando o solo não apresenta capacidade de neutralização suficiente para evitar a acidificação, trazendo efeitos negativos às condições ambientais e agrícolas (Hicks *et al.*, 2002). Appleyard *et al.* (2004) reporta que a maior quantidade de pirita oxidada incrementa o teor de H_2SO_4 no solo, promovendo desintegração das argilas silicatadas e neoformação de sais e óxidos. Esse processo leva a liberação de H e eleva a concentração de Mn, Fe e Al em solução, podendo ser tóxicos às plantas ou mesmo a vida aquática (Fanning, 2009).

O problema pode ser constatado no campo devido à presença subsuperficial de horizontes sulfúricos (solos tiomórficos atuais), materiais sulfídricos numa menor proporção (solos tiomórficos potenciais) sobre turfas no estado sáprico e níveis freáticos salino-ácidos. Essas características podem transmitir aos horizontes superficiais limitações em diferentes graus para o crescimento vegetal (Fitzpatrick, 1993, Fitzpatrick, 1996).

Devido à proximidade de grandes centros urbanos e a maior necessidade de alimentos, os solos tiomórficos têm sido explorados com maior frequência e intensidade. Souza Junior *et al.* (2001) relataram que a utilização dos solos tiomórficos, sem o conhecimento das suas peculiaridades, tem resultado em sérios problemas à sustentabilidade dos sistemas agrícolas, principalmente nas últimas décadas.

A utilização desses solos para pastagens ou para o cultivo de espécies frutíferas ou arbóreas tem apresentado resultados insatisfatórios. No entanto, seu uso em sistemas de manejo que evite ou pelo menos reduza a acidez, com a manutenção do lençol freático a pelo menos 50 cm de profundidade

da superfície, pode viabilizar o cultivo dessas espécies (Seiler, 1992).

Os solos tiomórficos são pouco pesquisados, particularmente nas regiões do Estado do Espírito Santo-Brasil e do Rio Sinú em Córdoba-Colômbia. Portanto, neste trabalho, objetivou-se caracterizar os solos tiomórficos, visando fornecer informações para a definição de práticas de manejo que permitam a sustentabilidade da produção agrícola nesses solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta de solos e preparo das amostras

As amostras de solos foram coletadas na região do delta do Rio Doce, sendo a amostra do perfil P1 coletada na região do Vale do Suruaca, Linhares e dos perfis P2, P3, P4 e P5 na Fazenda Agril, em Aracruz no Estado do Espírito Santo - Brasil. Quanto as suas classificações taxonômicas (EMBRAPA, 2006), situações geográficas e observações, estas podem ser observadas na tabela 1.

As amostras do perfil P6 foram coletadas no Vale do Rio Sinú em Córdoba-Colômbia. Quanto a sua classificação taxonômica, o perfil P6 foi classificado, segundo EMBRAPA (2006), como Gleissolo tiomórficos típicos e Sulfic Endoaquepts (SSS, 2003) na tabela 1.

Utilizaram-se 12 amostras de solo coletadas nas profundidades 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, em áreas litorâneas, sendo 9 amostras dos solos do Estado do Espírito Santo - Brasil e três do solo no Vale do Rio Sinú em Córdoba - Colômbia. Aproximadamente 1 kg das amostras de solo foi seca ao ar por 96 h, destorroadas, e peneiradas em malhas de 2,0 mm e homogeneizadas.

Tabela 1. Classificação, localizações e observações das localidades onde foram coletadas as amostras de solos tiomórficos.

| Perfil | 1/hzte | ² /Prof cm | Classificação | Localização | | Observações |
|--------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1 | H1 | 0-20 | Organossolo Tiomórfico fábri- co salino | 19°10'53,57" S | 39°45'16,53" W | O "Vale do Suruaca" e a região da Fazenda Agril apresentam solos hidromórficos com ampla rede de drenagem, nessas duas áreas, sua utilização se apresenta com o uso de pastagens (brachiaria) e pastagem nativo, além de pequenas áreas com eucalipto. A acumulação marinha apresenta, em sua grande maioria, cordões arenosos situados próximos do contato com os tabuleiros costeiros |
| | H2 | 20-40 | | | | |
| P2 | H1 | 0-20 | Organossolo Tiomórfico fábri- co salino | 19°41'21,98" S | 40°0'43,27" W | |
| | H2 | 20-40 | | | | |
| P3 | Cg | 20-40 | Gleissolo Tiomórfico Órtico(Salino) | 19°41'21,98" S | 40°0'43,27" W | |
| P4 | H1 | 0-20 | Gleissolo Tiomórfico Húmico típico | 19°41'21,98" S | 40°0'43,27" W | |
| | H2 | 20-40 | | | | |
| P5 | A | 0-20 | Gleissolo Tiomórfico húmico sódico | 19°41'21,98" S | 40°0'43,27" W | |
| | Cg | 20-40 | | | | |
| P6 | P ₅ Ap | 0-20 | Gleissolo Tiomórfico Húmico típico | 8° 52'13,7" N | 75° 42'12,4" W | |
| | P ₅ Bgy | 20-40 | | | | |
| | P ₅ CBgy | 40-60 | | | | |

1/horizontes. 2/Profundidade de amostragem.

Análises físicas e químicas.

Na terra fina seca ao ar TFSA (≤ 2 mm) de cada solo, foram realizadas análises: i) físicas: textura; argila dispersa em água; densidade do solo pelo método da proveta; e condutividade elétrica, e ii) químicas: pH em água e em KCl, segundo métodos descritos pela EMBRAPA (1999). P e K disponíveis usando o extrator Mehlich-1 (Vettori, 1969). O teor de carbono de compostos orgânicos (CO), determinado via combustão seca em analisador elementar (CHNS/O), modelo Perkin Elmer, PE-2400. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} trocáveis usando o extrator KCl 1 mol L⁻¹ (Vettori, 1969). A acidez potencial (H+Al), determinada por extração com $\text{Ca}(\text{OAc})_2$ 0,5 mol L⁻¹, pH 7, segundo método

descrito por (Defelipo e Ribeiro, 1997). A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinado pelo método NH_4OAc 1 mol L⁻¹ a pH 7, e o S disponível foi extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, 500 mg L⁻¹ de P, em HOAc 2 mol L⁻¹ (Hoeft *et al.*, 1973) e determinado por turbidimetria. A caracterização mineralógica foi feita por meio de difratometria de raios X da fração argila e areia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físicas e físico - químicas

As características físicas e físico-químicas das amostras de solos são apresentadas na tabela 2.

Devido à diversidade de materiais de origem, observou-se na análise granulométrica grande amplitude textural entre as amostras dos solos estudados. Esta diferenciação reflete a natureza diversa do material sedimentado, mostrando-se mais evidente quando se comparam as amostras de solos superficiais e subsuperficiais localizadas em bacias hidrográficas diferentes.

A proporção de areia variou de 50 a 940 g kg⁻¹ nas amostras de solos coletadas no Vale do Suruaca, no Estado do Espírito Santo - Brasil e de 20 a 120 g kg⁻¹ nas amostras coletadas no Vale do Rio Sinú em Córdoba - Colômbia (Tab. 2). O solo P3Cg, com 820 g kg⁻¹, apresentou o maior teor de areia entre os solos estudados. Os altos teores de areia nestas condições podem contribuir com a maior lixiviação da acidez gerada pela oxidação dos sulfetos, condição necessária para o melhoramento das características químicas dos solos tiomórficos.

Em relação aos teores de argila, a amplitude encontrada foi de 20 a 580 g kg⁻¹ nas amostras de solo de Vale do Suruaca, no Espírito Santo, e 440 a 630 g kg⁻¹ nas amostras do Vale do Rio Sinú, em Córdoba. Estes altos teores de argila nestas localidades poderiam limitar a drenagem e, também, restringir a penetração das raízes.

Os teores de argila dispersa em água apresentaram baixa variabilidade entre os solos, com valores entre 1 a 10 %. O solo P1H2 apresentou o maior valor de argila dispersa em água, sendo 10 %.

As características destes solos são diferentes às encontradas por Fitzpatrick *et al.* (2002), que indicam que a deterioração das propriedades físicas se deve às características massivas e

impermeável, ocasionando obstrução dos poros por precipitados de óxidos e hidróxidos férricos, que têm como função a cimentação e a desagregação das partículas do solo por parte de sais e metais.

As densidades dos solos das amostras estudadas variaram de 0,39 a 1,32 kg dm⁻³ nos solos da localidade de Suruaca, no Espírito Santo. A maior densidade foi encontrada no solo P3Cg, amostra que também apresentou o maior teor de areia total. Para as amostras dos solos do Vale do Rio Sinú em Córdoba, a densidade do solo oscilou entre 0,8 a 1,2 kg dm⁻³ (Tab. 2). Nesses solos, os altos teores de argila e os baixos teores de CO são características que contribuem para estes valores.

A condutividade elétrica (CE) variou de 1,08 a 8,36 dS m⁻¹, verificando-se grande variabilidade dos dados para as amostras de solos de Suruaca, no Espírito Santo. Nessas amostras, para o solo P1H2, a alta condutividade de 8,36 dS m⁻¹ reflete o caráter sálico deste solo (EMBRAPA, 2006). Nos solos P5A, P2H2 e P3Cg a CE apresentou valores de 4,38; 5,57 e 5,88 dS m⁻¹, respectivamente. Dent (1986) encontrou valores acima de 7 dS m⁻¹, o Espírito Santo e na Colômbia que indica que os valores de CE podem ser diferentes, dependendo das características dos solos. Nesses solos, a alta CE e os elevados teores de Na e S poderiam limitar o crescimento de plantas, devido à toxidez pelas altas concentrações de sais. Nas amostras de solos do Vale do Rio Sinú, a CE oscilou entre 1,18 a 2,86 dS m⁻¹ (Tab. 2). Lani (1998) expõe que nos solos tiomórficos ocorre acumulação de sais na superfície devido à elevação do nível do lençol freático pelo movimento das marés e intensa evaporação:

Os valores de pH em água variaram de 3,0 a 3,7 nos solos tiomórficos do Espírito Santo (Tab. 2). Esses valores são classificados como de acidez muito elevada, de acordo à 5ª aproximação de recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (Alvarez *et al.*, 1999). Segundo Lin (1996), quando os sulfatos de Fe são expostos ao processo de oxidação, como consequência da

drenagem, há um decréscimo do pH até valores menores a 3,5, produzindo águas de drenagem ácidas. Lani (1998), estudando Organossolos e Gleissolos, ambos tiomórficos, no delta do Rio Itapemirim, no Espírito Santo e Alves (1997), estudando Organossolos tiomórficos da região de Campos (RJ), encontraram valores de pH variando de 2,9 a 3,6.

Tabela 2. Caracterização física e física - química dos solos tiomórficos em estudo.

| Perfil | Amostras de solo | ^{1/} Areia Grossa fina | | ^{1/} Silte | ^{1/} Argila | ^{2/} Rn | ^{3/} DS | ^{4/} Dp | pH | | ^{7/} ΔpH | ^{8/} CE | Classe textural |
|----------------|------------------|---------------------------------|-----|---------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------------|
| | | -----g kg ⁻¹ ----- | | % | --kg dm ⁻³ -- | | | | ^{5/} H ₂ O | ^{6/} KCl | | | |
| P ₁ | H1 | 510 | 50 | 120 | 320 | 2 | 0,39 | 1,47 | 3,75 | 3,48 | -0,3 | 2,84 | Franco - Argilo - Arenosa |
| | H2 | 60 | 50 | 790 | 100 | 10 | 0,88 | 2,46 | 3,00 | 3,00 | 0,0 | 8,36 | Franco-Siltosa |
| P ₂ | H1 | 340 | 160 | 190 | 310 | 3 | 0,97 | 1,47 | 3,00 | 3,00 | 0,0 | 2,74 | Franco - Argilo - Arenosa |
| | H2 | 310 | 60 | 610 | 20 | 4 | 0,54 | 1,61 | 3,00 | 3,00 | 0,0 | 5,57 | Franco-Siltosa |
| P ₃ | Cg | 820 | 120 | 0,0 | 60 | 2 | 1,32 | 2,77 | 3,06 | 3,00 | -0,1 | 5,88 | Areia |
| P ₄ | H1 | 50 | 11 | 12 | 27 | 1 | 0,67 | 2,08 | 3,00 | 3,00 | 0,0 | 1,85 | Franco -Argilo -Arenosa |
| | H2 | 10 | 40 | 370 | 580 | 2 | 0,81 | 2,46 | 3,14 | 3,00 | -0,1 | 3,41 | Argila |
| P ₅ | A | 190 | 260 | 510 | 40 | 5 | 0,79 | 2,38 | 3,00 | 3,00 | 0,0 | 4,38 | Franco-Siltosa |
| | Cg | 410 | 130 | 200 | 260 | 1 | 1,13 | 2,63 | 3,09 | 3,00 | -0,1 | 1,08 | Franco -Argilo -Arenosa |
| P ₆ | P6Ap | 10 | 10 | 540 | 440 | 1 | 1,14 | 2,70 | 4,55 | 3,19 | -1,4 | 1,54 | Argila Siltosa |
| | P6Bgy | 80 | 40 | 250 | 630 | 3 | 0,80 | 2,38 | 3,48 | 3,23 | -0,3 | 2,86 | Muito Argilosa |
| | P6CBgy | 10 | 10 | 460 | 520 | 1 | 1,20 | 2,66 | 3,79 | 3,16 | -0,6 | 1,18 | Argila Siltosa |

1/ Método da pipeta, 2/ Argila dispersa em água, 3/ densidade do solo pelo método da proveta, 4/ densidade de partícula (EMBRAPA, 2006). 5/ pH em água relação 1:2,5 (Defelipo e Ribero, 1997); 6/ pH em KCl 1 mol L⁻¹ relação 1:2,5 (Raj *et al.*, 1987); 7/ pH em KCl - pH em H₂O; 8/ pasta de saturação (EMBRAPA, 2006)

A alta acidez presente nestas condições é gerada pela oxidação dos sulfetos. Consequentemente, a acidez produzida pelo H₂SO₄ leva a valores de pH menores de 3,5 e altos teores de Al trocáveis (Fitzpatrick *et al.*, 2002). Além disso, existe alta capacidade

de desintegração dos minerais primários nestas condições, o qual associado às altas concentrações de S contribui para a formação de sais ácidos de Al e Fe, diminuindo a produtividade destes ecossistemas.

Nas amostras de solos do Vale do Rio Sinú, em Córdoba, o pH teve valores que variaram de 3,5 a 4,8, valores estes que são indicativos como de acidez muito elevada a acidez elevada, de acordo a 5ª aproximação de recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (Alvarez *et al.*,1999). A menor condição de acidez neste solo pode estar relacionada com o longo período (mais de 40 anos) de drenagem a que foi submetido Espírito Santo e na Colômbia. Pela qual o processo de oxidação de sulfetos e geração de acidez inicial nessas condições foi lixiviada ou neutralizada

Características químicas

As características químicas dos solos são apresentadas na tabela 3. Os valores de P disponível variaram entre 1,1 a 15 mg dm⁻³, considerados valores de baixa a muito baixa disponibilidade, de acordo com o P remanescente. Os baixos teores de P disponível podem ser devido à precipitação deste elemento na forma de fosfatos de Al e de Fe, que ocorrem em condições de alta acidez, como nos solos tiomórficos, ou por que os materiais de origem não fazem aporte de P.

Analisando os teores de Ca²⁺, verifica-se que os teores do elemento variaram de 0,04 a 9,49 cmolc dm⁻³ no Espírito Santo e de 9,53 a 21,1 cmolc dm⁻³ nas amostras de solos do Vale do Rio Sinú em Córdoba (Tab. 3). No Espírito Santo, os menores teores foram encontrados nos solos P3Cg, P4H2, P5A, P2H1 e P2H2, com 0,04, 0,17, 0,23, 0,39, e 0,8 cmolc dm⁻³, respectivamente, teores classificados como de muito baixa a baixa disponibilidade. Para o Mg²⁺, os resultados foram semelhantes ao Ca²⁺, sendo que foram encontrados menores teores nos solos do Espírito Santo

em comparação aos de Córdoba. Resultados similares foram encontrados por Lani (1998), com predomínio de Ca²⁺ no complexo sortivo, depois do Mg²⁺ (Frase mal formulada, sem sentido). Bloomfield e Coulter (1973) reportaram para solos tiomórficos diferentes teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, que variaram entre 3 e 10 cmolc kg⁻¹ para Ca²⁺ e entre 3 e 7 cmolc kg⁻¹ para Mg²⁺, sendo teores considerados muito elevados comparados aos valores encontrados nas amostras de solos do Brasil.

Os teores de Al³⁺ das amostras de solos variaram de 0,5 a 63,03 cmolc dm⁻³ (Tab. 3). Bennett *et al.* (2004) indicam que nos solos tiomórficos atuais, o Al pode ser liberado de compostos minerais, aumentando o Al trocável e o Al ativo em solução. Este cátion de hidrólise ácida chega a ocupar entre 3,3 e 92,2 % do complexo sortivo, refletindo, assim, a natureza da alta acidez presente nos solos tiomórficos. Além disso, o problema de toxidez por Al³⁺ pode comprometer o crescimento e a produtividade das culturas nessas condições.

Frink (1972) indica que nos trópicos, os solos tiomórficos se caracterizam pelas altas concentrações de Al³⁺ numa amplitude que varia entre 5 a 10 cmolc kg⁻¹ e saturações superiores ao 40 e 60 %, o que promove grande toxicidade às culturas.

Com relação à acidez potencial, pode-se concluir-se que esta é muito alta ou excessiva, exceto para o solo P6Ap. Vale ressaltar que a concentração de H tem alta contribuição nesta variável química, devido às hidrólises ácidas do Al, Fe e Mn. Esta consideração é importante para determinar a necessidade de calcário como prática para neutralizar a acidez que pode ser gerada nos solos tiomórficos.

Os teores de CO nas amostras do Estado do Espírito Santo variaram de 10,9 a 460 g kg⁻¹. As amostras P4H1, P2H2 e P1H1 apresentaram os maiores teores de CO, sendo 133; 319 e 460 g kg⁻¹, respectivamente. Os teores de CO nas amostras do solo de Córdoba variaram de 6,4 a 68,4 g kg⁻¹ (Tab. 3). O conhecimento dos

teores de CO é uma característica importante no manejo dos solos tiomórficos, já que altos teores de CO podem coincidir com a geração e manutenção de acidez mais pronunciada, caracterizado pelos valores baixos de pH (<3,5) e maiores teores de Al, Fe, Mn e H trocáveis.

Tabela 3. Caracterização química dos solos tiomórficos utilizados no estudo.

| ^{1/} Per- fil | Amos- tra de solo | ^{2/} Prof | P | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | CTC | V | m | CO | S | Na |
|---------------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|-------------|------|----------------------|------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | mg dm ⁻³ | ----- cmolc dm ⁻³ ----- | | | -----%----- | | dag kg ⁻¹ | ----mg dm ⁻³ ---- | | | |
| P ₁ | P ₁ H1 | 0-20 | 3,6 | 9,49 | 4,3 | 0,5 | 32,9 | 47,7 | 31,1 | 3,3 | 46,0 | 762 | 10,9 |
| | P ₁ H2 | 20-40 | 7,0 | 7,8 | 8,33 | 63 | 144 | 160 | 10,1 | 79,6 | 6,75 | 14803 | 197,3 |
| P ₂ | P ₂ H1 | 0-20 | 2,0 | 0,39 | 0,99 | 13,8 | 37 | 38,4 | 3,8 | 90,5 | 7,68 | 3811 | 13,9 |
| | P ₂ H2 | 20-40 | 2,9 | 0,8 | 2,08 | 28,7 | 99,7 | 102 | 3,1 | 90 | 31,9 | 5574 | 403,8 |
| P ₃ | P ₃ Cg | 20-40 | 1,1 | 0,04 | 0,22 | 2,89 | 7,4 | 7,6 | 3,5 | 91,5 | 1,09 | 650 | 700,6 |
| P ₄ | P ₄ H1 | 0-20 | 3,6 | 0,17 | 0,61 | 11 | 33,7 | 34,6 | 2,7 | 92,2 | 13,39 | 2178 | 12,7 |
| | P ₄ H2 | 20-40 | 1,1 | 8,01 | 6,31 | 5,38 | 18,4 | 34,5 | 46,8 | 24,9 | 6,23 | 1789 | 30,1 |
| P ₅ | P ₅ A | 0-20 | 2,1 | 8,16 | 5,99 | 27,3 | 58 | 72,2 | 19,7 | 65,8 | 5,42 | 5849 | 118,2 |
| | P ₅ Cg | 20-40 | 1,1 | 0,23 | 0,45 | 6,37 | 16,3 | 17,0 | 4,3 | 89,7 | 2,43 | 1211 | 75,7 |
| P ₆ | P ₆ Ap | 0-20 | 7,2 | 16,4 | 15,1 | 1,79 | 7,1 | 39,3 | 81,9 | 5,3 | 0,86 | 1142 | 16,9 |
| | P ₆ Bgy | 20-40 | 15,5 | 21,1 | 5,73 | 10,1 | 29,6 | 56,9 | 48 | 27,1 | 6,84 | 1289 | 94,9 |
| | P ₆ CBgy | 40-60 | 2,1 | 9,53 | 7,08 | 11,6 | 18,6 | 35,6 | 47,9 | 40,5 | 0,64 | 1084 | 11,9 |

^{1/} P1H1 e P1H2/. Perfil 1, horizontes H1 e H2, solo Organossolo Tiomórfico fbrico salino. P2H1 e P2H2/. Perfil 2, horizontes H1 e H2, solo Organossolo Tiomórfico fbrico salino. P3Cg/. Perfil 3, horizontes Cg, Gleissolo Tiomórfico Órtico(Salino). P4H1 e P4H2/. Perfil 4, horizonte H1 e H2, solo Gleissolo Tiomórfico Húmico típico. P5A e P5Cg/. Perfil 5, horizontes A e Cg, solo Gleissolo Tiomórfico húmico sódico. P6Ap, P6Bgy e P6CBgy/. Perfil 6, horizontes Ap, Bg e CBg, solo Gleissolo Tiomórfico Húmico típico (Sulfic Endoaquepts).^{2/}Profundidade

Para o S disponível, os valores variam de 650 a 14 803 mg dm⁻³ (Tab. 3). Teores elevados pode ser devido à decomposição de compostos orgânicos ou por influência do lençol freático. Netas condições, é importante salientar que os altos valores encontrados para o S disponível pode ser consequência direta da influência do lençol freático marinho na bacia do Vale do Suruaca, Linhares, no Estado do Espírito Santo. Para as amostras do solo da Colômbia, o alto teor está diretamente relacionado com a acumulação de S solúvel, produto da intemperização de compostos de pirita dos materiais de origem na parte alta da bacia do Rio Sinú. Além disso, outro aporte é feito pela decomposição dos compostos orgânicos que foram acumulados por longos períodos de tempo.

Mineralogia

O conhecimento do tipo e das características dos minerais de argila nos solos pode indicar

o estágio de desenvolvimento dos mesmos, bem como induzir o manejo adequado a ser empregado e, também, o seu potencial no fornecimento de nutrientes para as plantas. Na figura 1 são observados três solos com seus respectivos difratogramas.

Nos solos tiomórficos do Espírito Santo foram identificados na fração areia, quartzo e mica (muscovita), e na fração argila, somente caulinita, o que demonstra a extrema pobreza química destes solos no suprimento de nutrientes. Os nutrientes estão ligados ao ciclo orgânico. (Fig. 1). Além destes minerais, Lani (1998), na mesma região, identificou a presença da vermiculita com ilhas de hidróxido de alumínio, goethita.

Para as amostras de solos de do Vale do Rio Sinú em Córdoba, na fração argila foram identificados vermiculita, illita e caulinita e na fração areia, quartzo e mica muscovita (Tab. 4).

Tabela 4. Caracterização mineralógica dos solos tiomórficos estudados

| Per- fil | Horizonte | Profundidade cm | Fração | |
|-------------|--------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|
| | | | Areia | Argila |
| P1 | H2 | 20 - 40 | Mica (muscovita), Quartzo | Caulinita |
| P2 | H1 | 0 - 20 | Mica (muscovita), | Caulinita |
| | H2 | 20 - 40 | Quartzo | Caulinita |
| P3 | Cg | 20 - 40 | Quartzo | Caulinita |
| P4 | H1 | 0 - 20 | Quartzo | Caulinita |
| | H2 | 20 - 40 | Mica (muscovita), | Caulinita |
| P5 | A | 0 - 20 | Mica (muscovita), | Caulinita |
| | Cg | 20 - 40 | Quartzo | Caulinita |
| P6 | P ₆ Bgy | 20 - 40 | Mica (muscovita) | Vermiculita, Illita, Caulinita |

Embora não se tenha verificado nos difratogramas, sabe-se, conforme Lani (1998), que deve haver jarosita.

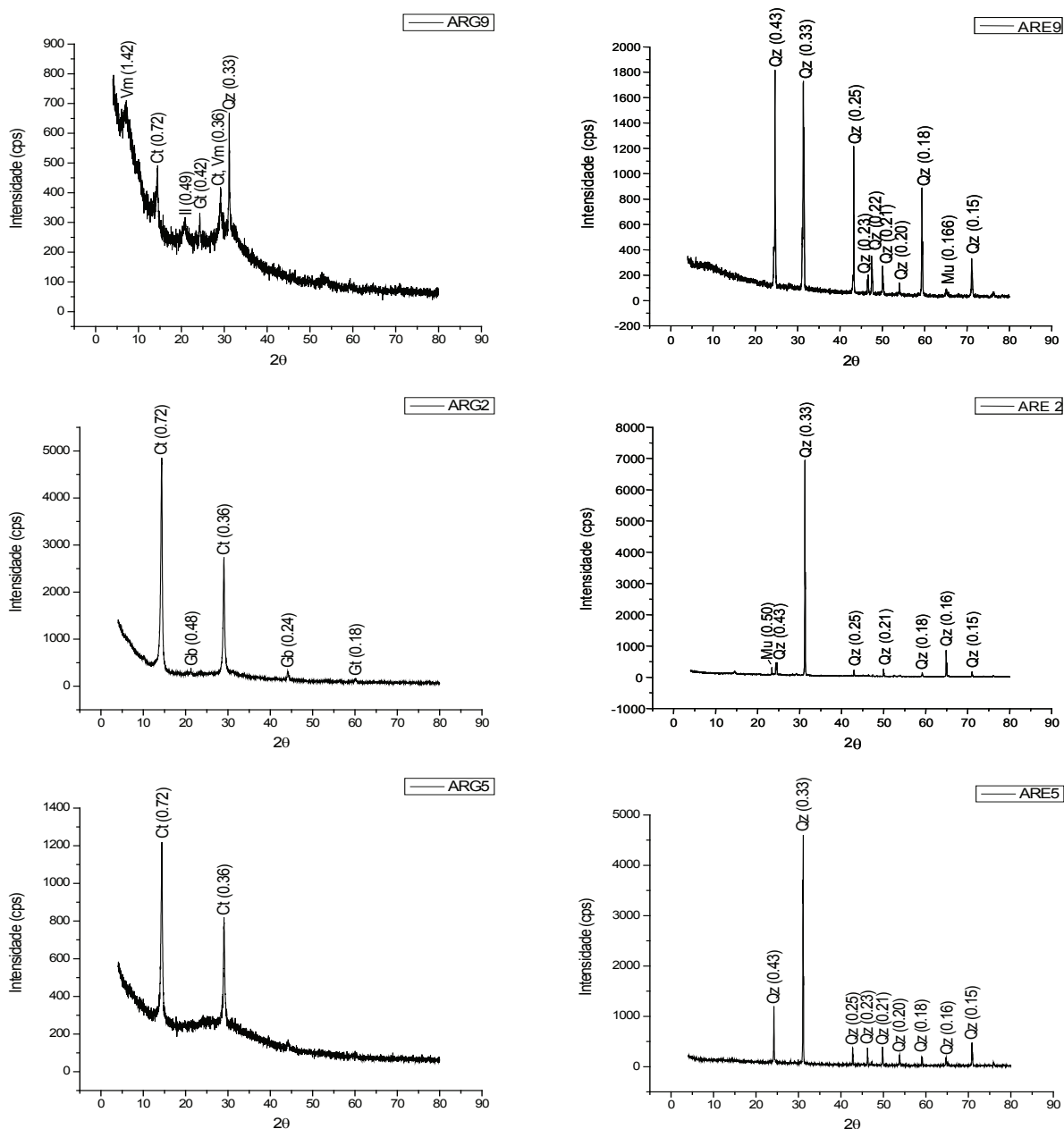


Figura 1. Difratomogramas de raios X das frações de areia e argila das amostras de solos tiomórficos dos perfis P1H2, P3Cg e P6 Bgy. Qz - quartzo, Mu- mica, ct- caulinita, Vm - vermiculita, Il- ilita.

CONCLUSÕES

A maioria dos solos apresentou alto teor de areia, baixo teor de argila dispersa em água e baixa densidade.

Os solos tiomórficos apresentaram teores elevados de Al trocável, acidez potencial e carbono de compostos orgânico, os quais contribuem com a acidificação destes ecossistemas.

De acordo com a análise de mineralogia, nos solos tiomórficos de Brasil, observou-se que a fração argila é composta por caulinita e a fração areia por quartzo e mica. Nos solos da Colômbia, observou-se a presença na fração argila de vermiculita e illita, e na fração areia de quartzo e mica.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa - UFV-Brasil, e a CAPES pelo auxílio financeiro para os estudos de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R. F., BARROS, N. F., CANTARUTTI, R. B. y LOPES, A. S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais; 25 - 32 p.

ALVES, E.A.B. 1997. Solos orgânicos salinos tiomórficos: Influência da calagem, sob drenagem controlada, nas características químicas do solo e na produção e composição mineral de *Brachiária decumbens*, *Panicum repens* L. e cana-de-açúcar. Campos dos Goytacazes. Tese de Mestrado na Universidade Estadual do Norte Fluminense, 82 p.

APPLEYARD, S., WONG, S., WILLIS-JONES, B., ANGELONI, J. y WATKINS, R. 2004. Groundwater acidification caused by urban development in Perth, Western Australia: source, distribution, and implications for management. Australian Journal of Soil Research. 42:579 - 585.

BENNETT, C., WHITE, I., KEENE, A., MELVILLE, M. y REYNOLDS, J. 2004. Super Soil. Australian New Zealand Soils Conference. CDROM University of Sydney.

BLUNDEN, B., INDRARATNA, B. Y MORRISON, J. 2000. Management of acid generation in sulfidic soils by drain manipulation: a case study. In: Slavich, P.G. (Ed.), Proceedings of Workshop on Remediation and Assessment of Broadacre Acid Sulfate Soils. ASSMAC, Australia; 59 - 69 p.

BLOOMFIELD, C. y COULTER, J.K. 1973. Genesis and management of acid sulphates soils. En: Advances in Agronomy. 25(1):265 - 326.

COOK, F., HICKS, W., GARDNER, E., CARLIN, G. y FROGGATT, D. 2000. Export of acidity in drainage water from acid sulfate soils. Mar Pollut Bull. 41:319-326

DENT, D. y B. DAWSON. 2000. The acid test: an expert system for acid sulphate soils. University of East Anglia. Norwich. England. 38 p.

DENT, D. 1986. Acid Sulphate Soils a Baseline for Research and Development. Wageningen: The Netherlands, International Land Reclamation Institute; 203 p.

DEFELIPO, B. V. y RIBEIRO, A.C. 1997. Análise química do solo. 2.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 26 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 1999. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Organizador: Fábio Cesar da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de tecnologia. 370 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 306 p.

FANNING, D. 2009. Acid sulfate soils of the U.S. Mid Atlantic /Chesapeake Bay region. 18th World Congress of Soil Science [em linea]. [citado setembro 2009]. Disponível em internet: http://www.sawgal.umd.edu/mapss/WCSS_Guidebook.pdf

- FITZPATRICK, R.W. 1993. Australia's unique saline acid sulphate soils associated with dry land salinity. En: Proceeding on the First National Conference on Acid Sulphate Soil Coolangatta; 41 - 46 p.
- FITZPATRICK, R. 1996. Iron oxyhydroxides, sulfides oxyhydroxysulfates as indication of acid sulfate soil weathering environment. En: Soils and Environment: Soil Processes from mineral to landscape. K, Stanjek & J.M. Bigham (eds); 227 - 240 p.
- FITZPATRICK, R.W., SKWARNECKI, M., RAVEN, M., MERRY, R. y BONIFACIO, E. 2002. biogeochemical and mineralogy processes in acid sulfate soil: implication for environmental significance. Symposium No 63. Paper No 2036. 17 th World Congress Soil Science Thailand.
- FRINK C. R. 1972. Aluminum chemistry in acid sulphate soil. The Connecticut Agriculture Experiment Station. Technical report. New Haven. USA. 49 p.
- HICKS, W., BOWMAN, G. y FITZPATRICK, R. 2002. The geochemistry of Australian tropical acid sulfate soil and their environment hazard. Symposium No 6. Paper No 238. 17th World Congress Soil Science Thailand. 2002.
- HOEFT, R.G., WALSH, L.M. y KEENEY, D.R. 1973. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. Soil Sci.Soc. Am. Proc. 37:401 - 411.
- LANI, J.L. 1998. Deltas dos rios Doce e Itapemirim; solos, com ênfase nos Tiomórficos, água e impacto ambiental do uso. Viçosa. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa. 169 p.
- LIN, C. 1996. Human influences on the development of acid sulphate soils in the Pearl River (The Zhujiang) delta. En *Pedosphere*. 6(1):1 - 10.
- PONS, L. 1973. Outline of the genesis, characteristics, classification and improvement of acid sulphate soils. Proceedings of the 1972 (Wageningen, Netherlands) International Acid Sulphate Soils Symposium. Wageningen: Niederlande, H. Dost (ed.), ILRI publications; 3 - 27 p.
- RAIJ, B. VAN, QUAGGIO, J.A., CANTARELLA, H., FERREIRA, M.E., LOPES, A.S. y BATAGLIA, O.C. 1987. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 170 p.
- SEILER, E. 1992. Acid sulphate soils - Their formation and agricultural use. Hannover, Institute for Scientific Co-operation; 92 - 110 p.
- SMITH, J., VAN OPLOO, P., MARSTON, H., MELVILLE, M.D. y MACDONALD, B.C.T. 2003. Spatial distribution and management of total actual acidity in an acid sulfate soil environment, McLeods Creek, northeastern NSW, Austrália. *Catena*. 51:61 - 79.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF. SSS. 2003. Keys to soil taxonomy. 9th edition. 2003. United States Department of Agricultura (USDA). Natural Resources Conservation Services. 332 p.
- SOUZA JUNIOR, V.S., RIBEIRO, M.R. y OLIVEIRA, L.B. 2001. Propriedades químicas e manejo de solos tiomórficos da várzea do rio coruripe, Estado de Alagoas. *R.Bras.Ci.Solo*. 25:811 - 822.
- VETTORI, L. 1969. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 24 p. (Boletim Técnico 7).