

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

GERSON MOREIRA BARROS

**GÊNESE DE SOLOS ALUMINOSOS NA BACIA SERGIPE-ALAGOAS, ESTADO
DE ALAGOAS, NORDESTE DO BRASIL**

**Recife
2017**

Gerson Moreira Barros
Engenheiro Agrônomo

**Gênese de solos aluminosos na Bacia Sergipe-Alagoas, Estado de Alagoas,
Nordeste do Brasil**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Rosas Ribeiro Filho

Co-orientadores: Prof. Dr. Valdomiro Severino de Souza Júnior/Prof. Dr. João Adauto de Souza Neto

Recife
2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

B277g Barros, Gerson Moreira
Gênese de solos aluminosos na Bacia Sergipe-Alagoas,
Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil / Gerson Moreira Barros
. – 2017.
142 f. : il.

Orientador: Mateus Rosas Ribeiro Filho.
Coorientadores: Valdomiro Severino de Souza Júnior, João
Adauto de Souza Neto.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,
Recife, BR-PE, 2017.
Inclui referências e apêndice(s).

1. Intemperismo 2. Solos tropicais 3. Alumínio 4. Estoque de
Carbono I. Ribeiro Filho, Mateus Rosas, orient. II. Souza Júnior,
Valdomiro Severino de, coorient. III. Souza Neto, João Adauto de,
coorient. IV. Título.

CDD 630

GERSON MOREIRA BARROS

Gênese de solos aluminosos na Bacia Sergipe-Alagoas, Estado de Alagoas,
Nordeste do Brasil

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da
Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Doutor em Agronomia – Ciência do Solo.

Aprovado em 28 de agosto de 2017

Prof. Dr. Mateus Rosas Ribeiro Filho
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Dr. José Coelho de Araújo Filho
Embrapa Solos

Prof. Dr. Valdomiro Severino de Souza Júnior
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. Jean Cheyson Barros dos Santos
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr^a. Jane Kelly Silva Araújo
Universidade Federal Rural de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa à Deus pela criação de todas as coisas, pelo seu cuidado em que sempre esteve comigo e generosidade, guiando os caminhos e auxiliando a realizar meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Esta tese somente tornou-se possível com o apoio de pessoas que me auxiliaram sem medir esforços, as quais mencionarei algumas delas.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco tem um papel decisivo pela oportunidade de obter o título de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS).

Sou grato à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento ao doutorado.

Expresso amor especial ao apoio e incentivo da minha família, em especial aos meus pais (José Maria Bezerra Barros e Maria Eliete Moreira Barros) e aos meus irmãos (Jefferson Moreira Barros e Gésica Moreira Barros) bem como a minha amada esposa Iwanne Lima Coelho, que contribuíram para que este sonho pudesse ser realizado.

Sou muito grato aos meus colegas de Apartamento, Danielly Lucena, Dayane Lucena e Leonardo Martins pelo ótimo convívio durante o doutorado.

Sou grato ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em particular aos Professores Valdomiro Severino de Souza Júnior e Clístenes Williams Araújo do Nascimento, como coordenadores em atender as necessidades dos alunos e ainda em sempre nos incentivar a evoluir profissional e academicamente.

Sou especialmente grato ao meu orientador Prof. Dr. Mateus Rosas Ribeiro Filho pela supervisão, amizade, respeito, educação e paciência bem como pela confiança depositada. O senhor tem o meu eterno respeito como profissional e principalmente no aspecto pessoal.

Extendo minha gratidão aos meus co-orientadores Valdomiro Severino de Souza Júnior e João Aduino de Souza Neto (UFPE), embora em meio a tantas ocupações terem se disposto a orientar, ensinar, bem como agradeço pela valiosa assistência durante toda a pesquisa, envolvendo etapas de campo e laboratorial.

Sou grato ao Dr. José Coelho de Araújo Filho, pesquisador da Embrapa Solos Recife pelas valiosas informações descritas no Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas, as quais propiciaram a realização desta pesquisa.

Agradeço ao Núcleo de estudos geoquímicos e isótopos estáveis (NEG-LABISE), ligado ao Departamento de Geologia da UFPE, liderado pela Prof^a Valderez Ferreira pela realização das análises de Fluorescência de raios-X.

Agradeço à Usina Santa Maria em Porto-Calvo-AL, particularmente ao senhor Inácio Melo por ter gentilmente disponibilizado todo o apoio para coleta de amostras de solos.

Expresso grande gratidão e respeito aos Professores do PPGCS Brivaldo Gomes de Almeida, Caroline Miranda Biondi, Edivan Rodrigues de Souza, Emídio Cantídio Almeida de Oliveira, Fernando José Freire, Giselle Gomes Monteiro Fracetto, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, Mário de Andrade Lira Júnior, Marcelo Metri Corrêa e Sheila Maria Bretas Bittar pelos valiosos ensinamentos e formação iniciados desde o mestrado.

Graças ao técnico em Química Pedro Gabriel Correia de Lucena por meio de sua valiosa assistência, amizade e dedicação possibilitaram a obtenção de dados de alto nível neste estudo.

Sou especialmente grato ao Engenheiro Agrônomo José Fernando Wanderley Fernandes Lima (Zeca) pelas valiosas informações de campo e relacionamento pessoal.

A amizade, alto astral, paciência e eficiência são características marcantes as quais agradeço à nossa secretária do PPGCS Maria do Socorro Santana.

Extendo minha gratidão e homenagem ao secretário Josué Camilo de Melo (*in memoriam*) que por décadas executou com muito comprometimento e seriedade suas atividades no Departamento de Agronomia.

Expresso agradecimento e carinho aos membros do grupo de gênese e mineralogia do solo – Elaine Delarmelinda, Mayame de Brito Santana, Agostinho Cardoso, Laércio Neves, Juliet Emília de Souza, Elis Regina Guimarães, Stephany Brilhante, Marilya de Souza, Evaniely Costa, Artur Henrique da Silva pelo apoio e amizade em toda a tese.

Sou igualmente grato aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo Ygor Jacques, Fábio Amorim, Rennan Cabral, Adriana Souza, Felipe Martins, Tiago de Oliveira, Jéssica Oliveira, Thaís Assunção, Hidelblandi Melo, Raquel Barros, Vinícius Gomes, Igor Tenório, Patrícia Karla Andrade, Aglair Cardoso, Douglas Monteiro e Airon José todos vocês serão eternamente lembrados.

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1. Hipóteses	19
1.2. Objetivo geral	19
1.3. Objetivos específicos	20
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
3. RELAÇÕES ENTRE ALISOLS E SUSTENTABILIDADE DA HUMANIDADE: IMPLICAÇÕES À SEGURANÇA ALIMENTAR E ESTOQUE DE CARBONO	23
3.1. Introdução	24
3.2. Propriedades Químicas	25
3.3. Fitotoxicidade de Al	29
3.4. Intemperismo, Relevância Climática e Ocorrência Global	33
3.5. Pedogênese	37
3.6. Ocorrência de solos aluminosos no Brasil	40
3.7. Contexto Produtivo Nacional	41
4. Considerações Finais	44
5. Referências Bibliográficas	44
6. GÊNESE DE SOLOS ALUMINOSOS E DINÂMICA DE ALUMÍNIO EM AMBIENTE SEDIMENTAR NO BRASIL	55
RESUMO	56
ABSTRACT	57
6.1. Introdução	58
6.2. Material e Métodos	59
6.2.1. Descrição da Área de estudo e Procedimento de Amostragem ..	59
6.2.2. Análises Físicas e Químicas	63
6.2.3. Dissolução Seletiva	65
6.2.4. Controle de Qualidade dos dados	65
6.2.5. Composição Química Total	65
6.2.6. Análises Mineralógicas	67
6.2.7. Análises Estatísticas	68

6.3. Resultados	68
6.3.1. Atributos Morfológicos, Físicos e Químicos	68
6.3.2. Extrações Seletivas de Fe e Al	75
6.3.3. Composição Química Total e Índices de Intemperismo	80
6.3.4. Propriedades Mineralógicas	84
6.4. Discussão	90
6.5. Conclusões	100
6.6. Considerações Finais	100
6.7. Referências Bibliográficas	101
APÊNDICE A: Dados macromorfológicos e analíticos dos solos estudados	111

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1.	INTODUÇÃO GERAL	15
Figura 1 -	Figura esquemática tectônica das Bacias rift da região Nordeste do Brasil e embasamento cristalino (Província Precambriana Borborema). Bacias: R – Recôncavo; T- Tucano; J- Jatobá; Ja – Jacuípe; SE/AL – Sergipe-Alagoas; CB – Cabo; A – Araripe; I – Iguatu; RP – Rio do Peixe; P – Potiguar onshore; Po – Potiguar offshore; PE/PB – Pernambuco-Paraíba; C – Ceará; PI – Piauí; entre I e RP, Malhada vermelha, Lima Campos e Icó (Fonte: Imagem reproduzida de Matos, 1999)	16
CAPÍTULO I -	RELAÇÕES ENTRE ALISOLS E SUSTENTABILIDADE DA HUMANIDADE: IMPLICAÇÕES À SEGURANÇA ALIMENTAR E ESTOQUE DE CARBONO	23
Figura 1 -	Influência do pH sobre atividade de Al e suas espécies	30
Figura 2 -	Diagrama exibindo os efeitos da toxicidade de Al com acúmulo da parede celular	32
Figura 3 -	Potencial resposta integrada de planta ao estresse de Al	32
Figura 4 -	Sequestro de carbono em solos da América Latina e Caribe.....	34
Figura 5 -	Estoque de carbono em horizontes superficiais mundiais	34
Figura 6 -	Distribuição de Alisols no mundo	35
Figura 7 -	Conteúdo de Mg na camada de 0-30 cm em área de savana	43
CAPÍTULO II -	GÊNESE DE SOLOS ALUMINOSOS E DINÂMICA DE ALUMÍNIO EM AMBIENTE SEDIMENTAR NO BRASIL	55
Figura 1 -	Figura esquemática da Bacia Sergipe-Alagoas e local de amostragem dos solos	60
Figura 2 -	Localização de amostragem dos solos na Sub-Bacia Alagoas	61
Figura 3 -	Sedimentos argilo-siltosos da Formação Maceió	61
Figura 4 -	Representação esquemática da catena com os locais de coleta de solos da Sub-Bacia Alagoas, Alagoas, Brasil	62
Figura 5 -	Paisagem das áreas de coleta de solos	63
Figura 6 -	Perfis de solos	70
Figura 7 -	Valores médios (desvios padrões exibidos como erro padrões para Ala extraído por oxalato de amônio (Aloxa), cloreto de Cobre (CuCl ₂), pirofosfato de sódio (Alpiro), e DCB (AL _{DCB}) em relação aos perfis de solos	78

Figura 8 -	Balanço geoquímico dos elementos Al e K e índice de intemperismo (Si/Al)	82
Figura 9 -	Curvas de concentração de elementos maiores e Zr (%) de uma catena composta de quatro perfis situados na Sub-Bacia Alagoas, Brasil	83
Figura 10 -	Difratogramas da fração argila (natural) de amostras não orientadas de solos desenvolvidos em ambiente sedimentar na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil, Sm = Esmectita; Mi= mica; Ka= caulinita; Qz= quartzo; Gt= Goethita; Hm= Hematita; P1= Argissolo Vermelho-Amarelo; P2= Argissolo Vermelho	85
Figura 11 -	Difratogramas da fração argila (natural) de amostras não orientadas de solos desenvolvidos em ambiente sedimentar na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil, Sm = Esmectita; Mi= mica; Ka= caulinita; Qz= quartzo; Gt= Goethita; Hm= Hematita; P3= Argissolo Vermelho- Amarelo; P4= Argissolo Amarelo	86
Figura 12 -	Difratogramas de raios-X da fração argila de horizontes do Perfil 1: Argissolo Vermelho-Amarelo originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. HIS: Esmectita com hidróxi-entrecamadas; Il: Ilita; Ka: caulinita	87
Figura 13 -	Difratogramas de raios-X da fração argila de horizontes do Perfil 2: Argissolo Vermelho originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. HIS: Esmectita com hidróxi-entrecamadas; Il: Ilita; Ka: caulinita	87
Figura 14 -	Difratogramas de raios-X da fração argila de horizontes do Perfil 3: Argissolo Vermelho-Amarelo originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Be: Beidelita; HIS: Esmectita com hidróxi-entrecamadas; Il: Ilita; Ka: caulinita	89
Figura 15 -	Difratogramas de raios-X da fração argila de horizontes do Perfil 4: Argissolo Amarelo originado de sedimentos areno-argilosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Il: Ilita; Ka: caulinita ...	90

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I -	RELAÇÕES ENTRE ALISOLS E SUSTENTABILIDADE DA HUMANIDADE: IMPLICAÇÕES À SEGURANÇA ALIMENTAR E ESTOQUE DE CARBONO	23
Tabela 1 -	Ocorrência de Alisols no mundo	36
Tabela 2 -	Correspondência entre classes do SiBCS, WRB/FAO e Soil Taxonomy.....	39

Tabela 3 -	Ocorrência de solos equivalentes aos Alisols no Brasil	40
CAPÍTULO II -	GÊNESE DE SOLOS ALUMINOSOS E DINÂMICA DE ALUMÍNIO EM AMBIENTE SEDIMENTAR NO BRASIL	55
Tabela 1 -	Propriedades macromorfológicas dos perfis de solos	69
Tabela 2 -	Propriedades físicas dos perfis de solos	72
Tabela 3 -	Propriedades químicas dos perfis de solos	74
Tabela 4 -	Conteúdo dos óxidos de Fe extraído por oxalato de amônio, ditionito- citrato-bicarbonato de sódio (DCB) e índice de intemperismo	76
Tabela 5 -	Matriz de correlação entre conteúdos de Al e propriedades de solos aluminosos	77
Tabela 6 -	Valores semiquantitativos de óxidos determinados por FRX	81
Tabela 7 -	Composição mineralógica das frações areia e silte dos perfis de solos.....	84

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I -	RELAÇÕES ENTRE ALISOLS E SUSTENTABILIDADE DA HUMANIDADE: IMPLICAÇÕES À SEGURANÇA ALIMENTAR E ESTOQUE DE CARBONO	23
Quadro 1 -	Classes do SiBCS sob influência de Al	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
Al _{KCl}	Al extraível por cloreto de potássio
Al _{piro}	Al extraível por pirofosfato de sódio
Al _{CuCl2}	Al extraído por cloreto de cobre
Al _{oxa}	Al extraído por oxalato de amônio
Al _{DCB}	Al extraível por Ditionito-citrato-bicarbonato de sódio
AAS	Espectrometria de Absorção Atômica
CIA	Índice químico de alteração
CTC	Capacidade de troca de cátions
DCB	Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio
DRX	Difratometria de raios-X
FRX	Fluorescência de raios-X
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
Fe _{DCB}	Fe extraível por Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio
Fe _{oxa}	Fe extraível por oxalato
Fe _t	Fe total determinado por Fluorescência de raios-X
IUSS	União Internacional de Ciência do Solo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
pH	Potencial hidrogeniônico
PIB	Produto interno bruto
COT	Carbono orgânico total
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
TFSA	Terra fina seca ao ar
WRB	Base mundial para recurso solo

Gênese de solos aluminosos na Bacia Sergipe-Alagoas, Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil

RESUMO

O ambiente geológico da América do Sul exibe em sua porção Nordeste distintos compartimentos, áreas constituídas de embasamento cristalino e bacias sedimentares marginais limites às áreas cristalinas. As Bacias Marginais brasileiras resultaram do processo de ruptura do megacontinente *Gondwana*-Oeste ocorrido do Jurássico superior ao Cretáceo (138-127 Ma) culminando no desenvolvimento do rift Sul-Atlântico e subsidência tectônica. Essas formações sedimentares diferenciam-se entre bacias, em vários aspectos, tais como estratigráficos, originando saprolitos distintos e conseqüentemente solos com características distintas. Nesse contexto, ocorre a Macro Bacia sedimentar Sergipe-Alagoas localizada no extremo Nordeste do país, a qual ocupa uma faixa alongada na costa leste brasileira. A referida Macro Bacia está subdividida em Sub-Bacia Sergipe e Sub-Bacia Alagoas. A Sub-Bacia Alagoas localizada no Nordeste do Brasil ocupa toda a faixa litorânea do estado homônimo definida também do tipo rift. A gênese de solos aluminosos e a natureza química ainda são pouco compreendidos, especialmente no Nordeste do Brasil. O objetivo deste estudo foi detectar a ocorrência de solos aluminosos, o impacto de sua ocorrência em aspectos climáticos por meio do estoque de carbono e sua relação com os fatores de formação de solos. Amostras de solos foram coletadas de todos os horizontes, com as quais realizou-se caracterização macromorfológica, física, química de rotina, mineralógica e composição química total, com os dados calculou-se o balanço de massas. Os solos exibiram características primariamente influenciadas pelo seu material de origem sedimentar, diversidade de classes texturais, variaram de franco-arenosa a argila, reação ácida, baixo status de fertilidade e alto conteúdo de Al associado a considerável ocorrência de minerais de argila 2:1 com hidróxi-Al entrecamada, incluindo illita, esmectita com hidróxi-Al entrecamadas (EHE). Os maiores valores de Al trocável sugerem dissolução de espécies de Al não trocáveis provenientes da dissolução das entrecamadas. Mineralogia do solo mais complexa sugere que a ocorrência destes solos não é consistente com o atual clima quente, mais úmido e que os altos conteúdos de Al existentes nos horizontes subsuperfície foram herdados do material de origem, com domínio de sedimentos argilo-siltosos entremeados com folhelhos. Os maiores estoques de carbono foram observados em concordância aos maiores conteúdos de Al em horizontes subsuperfície, portanto, provou-se que a química do Al desenvolve relevante papel mitigador de gases aquecedores da atmosfera.

Palavras-chave: Intemperismo. Solos tropicais. Alumínio. Estoque de carbono.

Genesis of aluminous soils in the Sergipe-Alagoas Basin, Alagoas State, Northeast of Brazil

ABSTRACT

The geological environment of South America shows on its northeast portion different compartments, areas over crystalline basement and sedimentary basin making marginal limits to the crystalline areas. The Brazilian marginal basins results from the severance process of the mega continent West-Gondwana which took place from the superior Jurassic to Cretaceous (138-127 Ma) leading to the development of the South Atlantic rift and tectonic subsidence. These sedimentary formations are different between basins, in several aspects like stratigraphic, originating distinct saprolites and consequently soils with different characteristics. In this context, occurs the Sergipe-Alagoas Macro-Basin, located at the northeast of the country, forming a straight line along brazilian east coast. The aforementioned Macro-Basin is subdivided in Sergipe Sub-Basin and Alagoas Sub-Basin. The Alagoas Sub-Basin, located at northeast Brazil occupies the coastal portion of the state with same name, also defined as rift type basin. The genesis of aluminum soils and their chemical behavior are still not much known, especially at Northeast Brazil. The objective of this study was to detect aluminous soils, their impact on climatic approaches through carbon storage and their relationship with factors of soil formation. Soil samples were collected from all horizons, on then macro morphological, physical, routine chemistry, mineralogical and total chemical composition analysis took place, with data were obtained mass balance. The soils showed characteristics primarily influenced by their sedimentary parent material, several textural classes, varying from sandy- loam to and clay, acid reaction, low fertility status and high associated Al content and considerable occurrence of 2:1 clay minerals with hydroxi-Al between layers, including illite, esmectite with HIS. The increasing in exchangeable Al content suggests dissolution of non-exchangeable species coming from dissolution of HIS. The complexity of soil mineralogy suggests that the occurrence of these soils does not match with the hot weather of present climate, more humid and that the high Al contents existing on the subsurface horizons were inherit from the parent material, dominated by silty clay sediments with shale surrounding it. The greater carbon stocks were observed in accordance to the higher Al contents on subsurface horizons, so, it is proved that the Al chemistry develop relevant function mitigating atmosphere heating gases.

Keywords: Weathering. Tropical soils. Aluminium. Carbon storage.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A existência e distribuição de ambientes sedimentares no continente Sul-Americano estão relacionados com a formação e evolução tectônica de Bacias Sedimentares continentais marginais. É essencial remontar aos processos fundamentais que ocorreram no interior e na superfície terrestre no tempo geológico para compreensão atual desses ambientes.

O continente Sul-Americano, como o conhecemos hoje, teve sua formação iniciada indiretamente há 210 milhões de anos (Neotriássico-EoJurássico) com o fraturamento do Pangea, com a separação de diversos blocos dentre eles as atuais América do Norte e América do Sul, permanecendo no entanto, a ligação entre esta última e a África (FLORÊNCIO, 2001).

Cerca de 70 milhões de anos depois, o processo que precedeu o rifteamento do Atlântico Sul conhecido como Província Magmática Paraná-Etendeka, extravasou mais de 800.000 Km³ de lavas de composição básica a intermediária, tornando-se num dos maiores volumes de rochas magmáticas que sem tem registro no tempo geológico mundial (BUENO, 2004).

O ambiente geológico da América do Sul exhibe em sua porção Nordeste distintos compartimentos, áreas constituídas de embasamento cristalino e bacias sedimentares marginais limites às áreas cristalinas. As Bacias Marginais brasileiras resultaram do processo de ruptura do megacontinente *Gondwana*-Oeste ocorrido do Jurássico superior ao Cretáceo (138-127 Ma) culminando no desenvolvimento do rift Sul-Atlântico e subsidência tectônica (BUENO, 2004; FLORÊNCIO, 2001).

O Brasil é um dos países com maiores extensões de margem continental do mundo (Figura 1), englobando diversos segmentos com rochas sedimentares de variadas composições e abundância elementar (MOHRIAK, 2003).

As áreas de depósitos sedimentares nesses ambientes foram formadas a partir de eventos tectônicos que culminaram em depressões, constituindo as Bacias de sedimentação, que iniciaram sua formação no Éon Fanerozóico (DELARMELINDA, 2015).

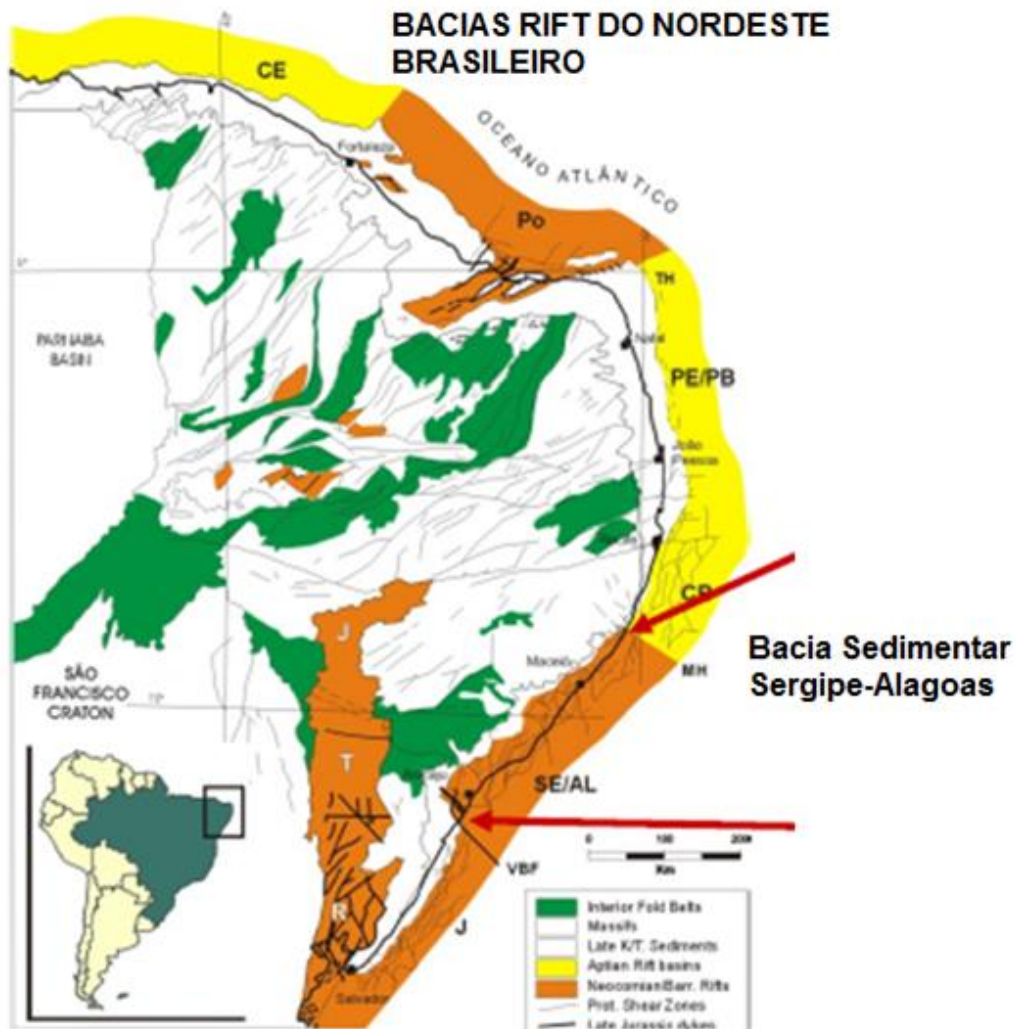


Figura 1. Figura esquemática tectônica das Bacias rift da região Nordeste do Brasil e embasamento cristalino (Província Precambriana Borborema). Bacias: R – Recôncavo; T- Tucano; J- Jatobá; Ja – Jacuípe; SE/AL – Sergipe-Alagoas; CB – Cabo; A – Araripe; I – Iguatu; RP – Rio do Peixe; P – Potiguar onshore; Po – Potiguar offshore; PE/PB – Pernambuco-Paraíba; C – Ceará; PI – Piauí; entre I e RP, Malhada vermelha, Lima Campos e Icó (Fonte: Imagem reproduzida de Matos, 1999).

Em face do longo tempo de sedimentação, essas formações sedimentares são relativamente muito espessas, e diferenciam-se entre bacias, em vários aspectos, tais como estratigráficos, originando saprolitos distintos e consequentemente solos com características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e geoquímicas distintas (DELARMELINDA, 2015).

Alinhada a essa situação, os solos derivados destes substratos exibem claramente características muito diferentes, pois ocorre comumente grande

variabilidade de material de origem entre e dentro de cada contexto geológico dessas bacias.

Nesse contexto, ocorre a Macro Bacia sedimentar Sergipe-Alagoas como exemplo, localizada no extremo Nordeste do país, a qual ocupa uma faixa alongada de grandes proporções na costa leste brasileira (FEIJÓ, 1994).

Seu limite ao norte é o Alto de Maragogi, com a Bacia Pernambuco-Paraíba, enquanto ao Sul, limita-se com a Bacia de Jacuípe, por meio do sistema de falhas Vaza Barris, a área emersa destas bacias ocupa 13.000 Km² e a porção submersa alcança 20.000 Km², totalizando 33.000 Km², dimensões totais maiores que importantes países europeus como a Bélgica (EUROSTAT, 2017). Alguns autores dividem a Bacia em duas áreas distintas, denominadas de sub-Bacia Sergipe e sub-Bacia Alagoas (FEIJÓ, 1994).

A evolução geológica dessa bacia iniciou-se antes da separação do continente *Gondwana*, não ocorrendo de maneira uniforme, variando de acordo com as características de cada compartimento tectônico, ocorrendo subsidência ou eventual soerguimento (FLORÊNCIO, 2001).

Desse modo, os primeiros sedimentos provavelmente depositados no Permo-Carbonífero refletem a fase de sinéclise, onde a Bacia Sergipe/Alagoas constituía a extremidade leste da grande sinéclise do Parnaíba. Durante esse período, houve grande aporte de sedimentos que indicam características glaciais e origem marinha e fluvial. (FLORÊNCIO, 2001).

Quando toda a depressão afro-brasileira encontrava-se em condições relativamente estáveis, acredita-se que houve grande aporte de sedimentos de grande extensão lateral representado por arenitos e folhelhos de outras Formações que compõem a Bacia (FLORÊNCIO, 2001; SCHALLER, 1969).

A referida Macro Bacia está subdividida em Sub-Bacia Sergipe e Sub-Bacia Alagoas. A Sub-Bacia Alagoas, localizada no Nordeste do Brasil ocupa toda a faixa litorânea do estado homônimo, é definida também como uma Bacia do tipo rift.

Está limitada ao norte com a Bacia Pernambuco pelo Alto de Maragogi, e ao Sul, com a Bacia de Sergipe, pelo Alto de Japoatã-Penedo (Figura 1), (CRUZ, 2008, FEIJÓ, 1994, LIRA, 2004). Esta contém um assoalho constituído de rochas cristalinas – granitoides (granitos-gnaisses e migmatitos) reativados durante o Neoproterozóico pertencentes à Província Borborema (CRUZ, 2008).

Das formações sedimentares na Sub-Bacia Alagoas, a Formação Maceió compõe uma ampla unidade litoestratigráfica constituída de sedimentos de natureza muito distintos. Esta Formação exhibe sedimentos de variada granulometria, a exemplo de sedimentos argilo-siltosos com estratificação complexa e em menores proporções ocorrência de folhelhos (ABREU,1990).

De acordo com Feijó (1994), sua sedimentação ocorreu no mesoaptiano ao eoalbiano, sendo de modo concordantemente pela Formação Riachuelo e discordantemente pela Formação Barreiras.

No processo de evolução geológica da sub-Bacia Alagoas, o padrão ambiental atual de aporte de sedimentos de origem fluvial e marinha, um fator que pode ter sido decisivo para a manutenção da natureza do material depositado, conservou minerais com alta concentração de sílica no sistema (MAYLE; POWER, 2008) e consequentemente solos com minerais 2:1 (DELARME LINDA et al., 2017).

Evidências indicam a ocorrência de solos com elevados valores de Alumínio, denotando o caráter alítico, relacionados com sedimentos de granulação variada (ARAÚJO FILHO et al., 2012; MARQUES et al., 2013).

Nesse contexto, a ocorrência de solos aluminosos, avaliação de severidade e extensão, são de grande importância sobretudo em termos de manejo de sistemas agrícolas sustentáveis. Globalmente, são estimados mais de 100 milhões de hectares de terras exibindo elevadas concentrações de Alumínio na forma trocável, atribuíveis à presença dos Alisols, estes ocupam principalmente terrenos tropicais, a exemplo da América Latina, porções do Caribe e ainda solos africanos e australianos (IUSS/WRB, 2014).

Em escala nacional, solos aluminosos ocupam 4,3% de 8.547.403 km² do território brasileiro (GUERRA et al. 2014) documentados na Amazônia, os quais exibem além de elevados conteúdos de Al, por vezes simultaneamente altos valores de Ca e caráter eutrófico (ALMEIDA et al., 2010; BERNINI et al., 2013; LIMA et al., 2006; MARQUES et al., 2002), bem como ocorrentes em bacias sedimentares costeiras no Nordeste Brasileiro, a exemplo do Estado do Maranhão (ANJOS et al., 1995; ANJOS et al., 2007) em Pernambuco (COSTA, 2012) e Bahia (BRASIL, 1977).

No Estado de Alagoas, segundo o Levantamento de baixa e média intensidade (escala 1:100.000) os solos aluminosos ocupam uma área de aproximadamente 7.000 hectares na região dos Tabuleiros costeiros (ARAÚJO-FILHO et al., 2012).

A ocorrência de solos alíticos com valores anômalos representam risco real de segurança alimentar, em decorrência desses ocuparem principalmente terrenos na América do Sul, a casa de 5,7% (0,419 bilhão de pessoas) da população mundial e responsável por 8,6% da produção global de alimentos (419 toneladas) (SÁ et al., 2017).

Em relação ao uso agrícola, os solos presentes na Formação Maceió têm sido continuamente cultivados por gerações com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), desde o século XVI. A indústria da cana-de-açúcar, incluindo cultivo, processamento e refino representa um importante setor da economia brasileira, de modo que em 2012, este segmento contribuiu com US\$ 43,8 bilhões ao Brasil, uma riqueza superior ao produto interno bruto (PIB) de países europeus, tais como a República Tcheca (SILVA et al., 2016).

Este estudo fornece dados consistentes de solos originados de rochas sedimentares na costa Atlântico Sul da Sub-Bacia Alagoas, os quais fornecem um ambiente ideal para compreender transformações minerais, translocações, mobilidade elementar e processos pedogenéticos.

1.1. Hipóteses

Em solos no ambiente sedimentar marginal do Nordeste Brasileiro, em condições de clima quente e úmido a predominância de minerais com estrutura 2:1 está associado à herança do material de origem;

Na área do presente estudo, o material de origem é o fator mais relevante da pedogênese em solos com caráter alítico.

A química Al por meio da associação com compostos orgânicos, desenvolve relevante papel no estoque de carbono, auxiliando na mitigação de gases aquecedores da atmosfera.

1.2. Objetivo geral

O principal objetivo deste estudo é estudar a gênese de solos aluminosos na Bacia Sedimentar Costeira de Alagoas, o impacto de sua ocorrência em aspectos climáticos por meio do estoque de carbono e sua relação com os fatores de formação

do solo, bem como deduzir os principais processos pedogenéticos atuantes, passando pela compreensão geoquímica e da dinâmica do alumínio na fração sólida.

1.3. Objetivos específicos

Os objetivos específicos neste trabalho foram: (i) prover informações consistentes da física-química de Al no ambiente solo; (ii) implicações da presença de solos aluminosos para a segurança alimentar global e mitigação das mudanças climáticas; (iii) avaliar a assembleia de minerais bem como sua evolução intempérica; (iv) investigar as interações entre as formas de alumínio e argilominerais presentes; (v) avaliar o efeito de outros elementos na mobilidade de alumínio.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. J. Predicting reservoir quality in the cretaceous Maceió Member of Sergipe-Alagoas Basin, Northeast Brazil. **Society of Petroleum Engineers**. 1-10. 1990.

ALMEIDA, J. A.; CAMPOS, M. L.; FERREIRA, E. R. N.; GATIBONI, L. C. Formas de alumínio em solos do Acre. In: ANJOS, L.H.C. dos; SILVA, L.M. da; WADT, P.G.S. (Eds). Pesquisas Coligadas da IX Reunião Brasileira de Correlação e Classificação de Solos. Rio Branco: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 154p.

ANJOS, L. H. C.; FRANZMEIER, D. P.; SCHULZE, D. G. Formation of soils with plinthite on the toposequence in Maranhão State, Brazil. **Geoderma**. 64. 257-279. 1995.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. Caracterização e Classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 31. 1035-1044. 2007.

ARAÚJO FILHO, J. C.; GOMES, E. C.; SILVA, F. H. B. B.; OLIVEIRA NETO, M. B.; PARAHYBA, R. B. V.; CUNHA, T. J. F.; CAVALCANTI, A. C.; SANTOS, J. C. P.; SILVA, A. B.; LOPES, O. F.; LEITE, A. P.; SILVA, M. S. L.; FILHO, M. R. R.; ACCIOLLY, L. J. O.; MARQUES, F. A.; AMARAL, A. J.; LIMA, P. C. **Levantamento de Reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do Estado de Alagoas**. Recife. 2012. 245 p.

BERNINI, T. A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREZ, D. V.; FONTANA, A.; CALDERANO, S. B.; WADT, P. G. S. Quantification of aluminium in soil of the Solimões formation, Acre State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 37. 1587-1598. 2013.

BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Levantamento Exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia**. Recife (Embrapa/SNLCS – Boletim Técnico, 52. Sudene/DRN. Série Recursos de solos. 10). v. 01. 1977. 738 p.

BUENO, G. V. Diacronismo de eventos no rift Sul-Atlântico. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro. 12. (2). 203-229. 2004.

COSTA, E. U. C. **Caracterização e gênese de Argissolo e Nitossolos na bacia Cabo, Pernambuco**. 2012.128f. Dissertação (Dissertação em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

CRUZ, L. R. **Caracterização Tectono-Estratigráfica da sequência transicional na sub-Bacia de Sergipe**. 2008. 195f. Tese (Doutorado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

DELARME LINDA, E. A. **Solos desenvolvidos nas Bacias Sedimentares do Acre e do Solimões, Amazônia Sul-Occidental**. 2015. 50 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

DELARME LINDA, E. A.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; WADT, P. G. S.; DENG, Y.; CAMPOS, M. C. C.; CÂMARA, E. R. G. Soil-landscape relationship in a chronosequence of the middle Madeira River in Southwestern Amazon, Brazil. **Catena**. 149. 199-208. 2017.

EUROSTAT, **União Europeia**. European Commission: Your key to European statistics. Disponível em: <http://www.europa.eu/european-union/about-eu/countries/member-countries/belgium_en.php>. Acessado em 16 de agosto de 2017.

FEIJO, F. J. Bacias de Sergipe e Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro. 8. (1). 149-161. 1994.

FLORÊNCIO, C. P. **Geologia dos Evaporitos Paripueira na Sub-Bacia de Maceió, Alagoas, Região Nordeste do Brasil**. 2001. 177f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; ALEXANDRE, S. T. Erosion and Conservation in Brazil. Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ. Rio de Janeiro. 81-91. v. 37. 2014.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World Reference Base for Soil Resources**. DECKERS, J. A.; NACHTERGAELE, F. O. SPAAGAREN, O. C. (Eds). Austria. 1998. 69p.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da Bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 30. 59-68. 2006.

LIRA, A. R. A. **Caracterização em multiescala de análogos de reservatórios da Formação Maceió (Aptiano da Bacia de Alagoas) nas regiões de Japaratinga e Morros de Camaragibe-AL**. 2004. 184f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

MARQUES, J. J.; TEIXEIRA, W. G.; SCHULZE, D. G.; CURI, N. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. **Clay Minerals**. 37. 651-661. 2002.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. Solos alíticos da Zona da Marta Norte do Estado de Alagoas. **I Reunião Nordestina de Ciência do Solo**. Areia/PB. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2013.

MAYLER, F. E.; POWER, M. J. Impact of a drier Early-Mid-Holocene climate upon Amazonian forests. **Philosophical transactions of the Royal Society**. 363. 1829-1838. 2008.

MOHRIAK, W. U. **Bacias sedimentares da margem continental brasileira. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (eds.). CPRM. Brasília. 2003.

MATOS, R. M. D. **History of the northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break-up between Brazil and West Africa**. Geological Society, London. Special Publications. 53. 1999. p. 55-73.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LORENTZ, K.; HUNGRIA, M.; CARVALHO, P. C. F. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**. 98. 102-112. 2017.

SCHALLER, H. **Revisão Estratigráfica da Bacia Sergipe-Alagoas**. Boletim Técnico PETROBRÁS. Rio de Janeiro. 12. (1): 21-86. 1969.

SILVA, F. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; ARAÚJO, P. R. M.; SILVA, L. H. V.; SILVA, R. F. Assessing heavy metal sources in sugarcane Brazilian soils: an approach using multivariate analysis. **Environmental Monitoring and Assessment**. 188. 457. 2016.

CAPÍTULO I

RELAÇÕES ENTRE ALISOLS E SUSTENTABILIDADE DA HUMANIDADE: IMPLICAÇÕES À SEGURANÇA ALIMENTAR E ESTOQUE DE CARBONO

3.1. Introdução

Um grande número de desafios ambientais globais tem sido reconhecido para o desenvolvimento sustentável da humanidade e do planeta terra, incluindo a segurança alimentar e da água, especialmente para suportar o crescimento predito da população mundial de aproximadamente nove bilhões de pessoas nos próximos anos (CAMARGO et al., 2017; MC BRATNEY et al., 2014).

Nesse sentido, está claro que a humanidade não pode mais manejar os recursos do mesmo modo que décadas atrás. Por outro lado, deve desenvolver práticas resilientes, bem como aproveitar as oportunidades que os bens naturais, tais como os solos podem oferecer, e ainda minimizar suas características negativas intrínsecas.

Alisols (FAO, 2001), solos aluminosos ou solos afetados por elevados conteúdos de Alumínio (Al), representam risco real à segurança alimentar, em vista do efeito rizotóxico de Al ao desenvolvimento de plantas e do papel crítico desse elemento em solos ácidos (ÁLVAREZ et al, 2005).

Globalmente, ocupam acima de 100 milhões de hectares principalmente em porções tropicais e subtropicais (FAO, 2001). Como os trópicos compreendem aproximadamente 40% da superfície de terrenos do planeta, mais que um terço dos solos do mundo são tropicais (PAL et al., 2014).

São reconhecidos os efeitos do Al como componente rizotóxico em sistemas agrícolas (KOPPTIKE et al., 2016b; NOGUEIROL et al., 2015b), no entanto, raramente tais estudos consideram a química inerente de Al no papel mitigador de mudanças climáticas ao associar-se com compostos orgânicos.

Conceitualmente, a classe dos Alisols, conforme os critérios estabelecidos na Base de Referência mundial para o recurso solo (FAO/WRB), é caracterizada pela presença de horizonte argilic, valor de capacidade de troca de cátions $\geq 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na fração argila, associado com saturação por bases $\leq 50\%$ na maioria do horizonte argilic (IUSS/ WRB, 2014).

No Sistema Brasileiro de Classificação (SiBCS), solos que exibem no horizonte B abundante conteúdo de Alumínio no complexo de troca ($\text{Al}^{3+} > 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo), associado a alta atividade da fração argila ($\geq 20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila) bem como alta

saturação por alumínio (valor $m \geq 50\%$) e/ou baixa saturação por bases (valor $V < 50\%$), são discriminados por possuírem o caráter alítico (EMBRAPA, 2013).

No Brasil, prévios autores indicaram que os maiores conteúdos e redistribuição de Al extraídos por solução de KCl 1 mol L^{-1} na presença de minerais 2:1 com hidróxi Al-entrecamada na Amazônia (ALMEIDA, 2010; BERNINI et al., 2013) e região sul do país (CUNHA et al., 2014; CUNHA et al., 2015; PEDRON et al., 2015) são um dos possíveis mecanismos para formação de solos aluminosos.

A classe dos Alisols que abordamos nesta revisão ajusta-se ao amplo conceito de solos de ocorrência e importância em escala global. Estudos que abordam aspectos como caracterização físico-química, mineralógica e micromorfológica são amplamente publicados (COSTANTINI et al., 2013; DAVTIAN et al., 2016; GARDI et al., 2015; IMAMUL HUQ; SHOAIB, 2013; JORDANOVA, 2017; KRASILNIKOV et al., 2016; LEHNDORFF et al., 2016; WEST et al., 2016; WINKLER et al., 2016).

Entretanto, até então, nenhum estudo foi feito para evidenciar a implicação específica de Alisols sobre a dinâmica de Alumínio no ambiente solo como ferramenta na garantia da segurança alimentar, na mitigação das mudanças climáticas e ainda prover suficiente informação background para não especialistas na pesquisa de Al.

3.2. Propriedades químicas

Alumínio está entre os mais abundantes elementos no Universo e da terra (WILLIAMS, 1999), ocupando 8,3% em massa da litosfera, sendo superado apenas pelos elementos oxigênio (45,5%) e silício (25,7%) (FAMOSO et al., 2010; HAGVAL et al., 2015; KOPITTKE; BLAMEY, 2016a; LINDSAY, 1979; LINDSAY; WALTHALL, 1995; MC LEAN, 1965; SADE et al., 2016). No entanto, suas funções específicas principalmente no campo biológico, ainda são pouco conhecidas (SINGH et al., 2017).

A União internacional de química pura e aplicada (IUPAC) define o Al com propriedades químicas únicas na tabela periódica; é um membro do grupo do Boro (bloco P), pertence ao grupo XIII na tabela periódica com número atômico 13 (estado de oxidação +3), elemento com segunda maior relação carga/raio ($z/r = 5,9$) (GREENWOOD; EARNSHAW, 1997; SINGH et al., 2017).

Exibe apenas um isótopo na natureza (^{27}Al), massa atômica (26,982g), raio iônico de 0,05 nm, menor que Mg ($\text{Mg}^{2+} = 0,072 \text{ nm}$); Ca ($\text{Ca}^{2+} = 0,11 \text{ nm}$); K ($\text{K}^{+} =$

0,151 nm); Na (Na^+ = 0,102 nm) possibilitando em termos de relação iônica de Pauling coordenação tetraedral e octaedral com elementos (principalmente oxigênio); eletronegatividade = 1,61 e ainda possui a seguinte configuração eletrônica = $[\text{Ne}]3s^2,3p^1$ (COTTON; WILKINSON, 1980; LI et al., 2012; GREENWOOD; EARNSHAW, 1997).

Essa configuração tem uma influência substancial na dinâmica do elemento nos diversos compartimentos ambientais. É um elemento ligeiramente pesado, metálico exibindo cor branco-prateado, não exhibe propriedades magnéticas e não corrosivo. No campo histórico, sua existência foi primeiramente descrita por Lavoisier no século XVIII e somente em 1825 o Al foi isolado pelo Físico Dinamarquês Hans Oersted (1777-1851) (SINGH et al., 2017).

No aspecto pedológico, solo é um biomaterial de elevada complexidade terrestre (ADHIKARI; HARTEMINK, 2016; LIN, 2011) e também um recurso que comporta uma variedade de reações relacionadas aos ciclos biogeoquímicos, desde a disponibilidade de elementos até a perda para lençóis freáticos ou para atmosfera (ESSINGTON, 2005).

Alumínio é um componente integrante de solos minerais, constituindo aluminossilicatos primários e secundários. Assim sua presença pode ser facilmente observada em quase todas as formas de vida, mas sem função específica biológica. Sua toxicidade está restrita, comumente, em ambientes ácidos (SINGH et al. 2017; POSCHENRIEDER et al., 2008).

Este cenário de grande abundância e sem função específica definida sugere a seguinte pergunta: Quais as funções do Al? Não é uma simples pergunta porque usualmente todos os íons trivalentes são difíceis para sistemas biológicos de serem compreendidos. Estes íons tendem a exibir lentas reações especialmente quando ligados a fosfatos (WILLIAMS, 1999).

Em solos ácidos, na fase sólida, o Al pode ser encontrado em diversas formas no solo o que o torna um elemento bastante versátil: aliado de modo predominante em aluminossilicatos e demais minerais de argila; ao substituir o Fe nos óxidos de Fe livres; detectado como íon trocável (Al trocável); formação de associações com compostos orgânicos a exemplo de complexos Al-húmus; polímeros de hidróxi-Al nas posições entrecamada dos silicatos 2:1; e ainda precipitado com composto Al – Fósforo (Al-P). Todas estas formas influenciam a atividade desse cátion e conseqüentemente a produtividade dos solos (ALLEONI et al., 2010; DAHLGREN;

UGOLINI, 1991; DRISCOLL et al., 1985; GARCÍA-RODEJA et al., 2004; LIN; COLEMAN, 1960).

Procedimentos de dissolução seletiva, a exemplo de extrações com soluções de oxalato de amônio, pirofosfato de Na ou ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) têm sido empregados para tentar categorizar as frações de Al (GARCÍA-RODEJA et al., 2004).

Alumínio pode formar complexos com a matéria orgânica, para medir tal forma utiliza-se extratores mais fortes, a exemplo do pirofosfato de Na em pH 10,0, atribuído como uma ligação de Al associado em complexos orgânicos (WALNA et al., 2005), o qual dissolve Al ligado a compostos húmicos em geral, inclusive os mais estáveis.

Contudo, possui o inconveniente de poder superestimar o Al associado ao material orgânico, incluindo também Al ligado a compostos inorgânicos de baixa cristalinidade (ALMEIDA et al., 2010) bem como extrair alguns Al entrecamadas, formas relativamente lábeis de Al precipitado em superfície com pouca atuação sobre óxidos hidratados (KAISER; ZECH, 1996).

A forma de Al complexado a matéria orgânica também pode ser medido de forma alternativa com emprego de extratores químicos mais brandos não tamponados, a exemplo do CuCl_2 e LaCl_3 que extraem o Al ligado a matéria orgânica em complexos de baixa estabilidade, sendo denominado de “Al não trocável potencialmente reativo” (ALLEONI et al., 2010; ALMEIDA et al., 2010).

O CuCl_2 foi proposto por Juo e Kamprath (1979), como um extrator promissor para Al não trocável potencialmente reativo em comparação ao extrator KCl 1 mol L⁻¹ em horizontes superficiais. A diferença foi atribuída principalmente aos complexos Al-organo, enquanto que os maiores valores de extração de Al com CuCl_2 em profundidade foi atribuído aos polímeros OH-Al (WALNA et al., 2005).

A maior eficiência do CuCl_2 em relação ao extrator KCl em extrair o Al^{3+} parece estar relacionada com o baixo pH da solução CuCl_2 0,5 mol L⁻¹ (2,7 – 3,3) e ao forte poder complexante do cátion (GARCÍA-RODEJA et al., 2004).

Em desacordo ao uso do CuCl_2 , Bloom et al. (1995) indicaram que LaCl_3 é mais eficiente que KCl em extrair Al de complexos Al-matéria orgânica. Além disso, os autores ressaltam que a quantidade de Al extraível em solos ácidos com uso de sais neutros é dependente do cátion do sal e da concentração salina.

Já com o uso de NH_4 , de metais alcalinos e cátions alcalinos terrosos, a quantidade de Al está em função da carga iônica e é inversamente relacionada com o raio hidratado (energia de hidratação).

O oxalato ácido de amônio (OAA) é comumente usado para dissolver hidróxidos de Al e hidr(óxidos), Al ligado a matéria orgânica e em alofana e imogolita. Aos valores obtidos com este extrator (OAA), é atribuída a soma de Al em complexos orgânicos bem como em óxidos hidratados não cristalinos (GARCÍA-RODEJA., 2004; WALNA et al., 2005). Por outro lado, a extração com DCB parece promissora para quantificar a forma de Fe livre em solos, contudo, há poucas evidências de igualmente promissor para Al para os compartimentos de aluminossilicatos não cristalinos (GARCÍA-RODEJA et al. 2004).

O emprego de sais neutros não tamponados têm sido usados em amostras de solos desde a década de 1960 para a extração de Al^{3+} (BERNINI et al., 2013), sendo a solução de KCl a mais empregada (ALMEIDA et al., 2010).

Além do KCl 1 mol L^{-1} alguns países, incluindo Canadá e Nova Zelândia, utilizam como extrator das formas trocáveis soluções de CaCl_2 0,02 ou 0,01 mol L^{-1} , cujo as baixas concentrações mais se assemelham às condições encontradas na solução do solo (ALMEIDA et al., 2010). No entanto, o método de Al trocável não parece promissor para estimativa de requerimento de corretivos de solos argilosos constituídos de minerais 2:1 (BERNINI et al. 2013).

Várias soluções além do KCl tamponadas e não tamponadas têm sido usadas para medir Al extraível no solo, os quais incluem NaCl e BaCl_2 (MC LEAN et al., 1959). Outros cloretos são citados na bibliografia, bem como outros reagentes como CaCl_2 , LaCl_3 , Pirofosfato, EDTA (JARVIS et al., 1986), NH_4OAc em vários níveis de pH (PAVAN, 1983).

Dentre os vários extratores utilizados por Mc Lean et al. (1959), o extrator NH_4OAc pH 4,8 mostrou-se mais efetivo na extração de Al extraível em comparação com BaCl_2 , NaCl, NH_4OAc pH 7,0 e $\text{BaCl}_2 + \text{TEA}$ por várias razões, as quais incluem: i) a intensidade da extração é a mesma, independente do pH inicial; ii) a quantidade removida pelo NH_4OAc foi suficiente mesmo em solos neutros; iii) não há evidências que o Al extraído em pH 4,8 é liberado pelo cristal de argila.

3.3. Fitotoxicidade de Al

A melhoria nos rendimentos de solos ácidos impactados por Al é fundamental para garantir a segurança alimentar porque o solo é recurso vital, ao fornecer 99,7 % das calorias consumidas pelos humanos enquanto apenas 0,3% das calorias são fornecidas pelos oceanos e outros ecossistemas aquáticos (KOPITTKE et al., 2016b; PIMENTEL, 2006).

A química do Al é tão complexa quanto antiga, apesar da importância de Al solúvel em solos ácidos ter sido conhecida há mais de 100 anos, muito permanece desconhecido em relação à sua rizotoxicidade (KOPITTKE et al., 2016b). O progresso relativamente pequeno neste campo têm sido atribuído à complexa dinâmica do elemento (SPOSITO, 1996) e a faixa de mecanismos de resposta das plantas à toxicidade de Al (KOPITTKE et al., 2016a).

Em condições geoquímicas ácidas, dissolução de minerais ligados a Al conduz que seja rizotóxico a muitas espécies, contribuindo para que a abundância desse elemento seja uma das principais limitantes para produção agrícola (ÁLVAREZ et al., 2005; SINGH et al., 2017) ao afetar a absorção, transporte e uso de nutrientes, principalmente de P, Ca e Mg (SALVADOR et al., 2000).

Elevadas concentrações de Al solúvel é uma situação alarmante, pois ocupam globalmente aproximadamente 4 bilhões de ha de terras livres de gelo ou 40% das terras potencialmente aráveis do mundo e ainda causam perdas de rendimento entre 25 e 80% dependendo das espécies (ÁLVAREZ et al., 2005; FAMOSO et al., 2010; KOPITTKE, 2015; 2016a; 2016b; NOGUEIROL et al., 2015a; SADE et al., 2016).

Alumínio em solução aquosa, rapidamente e reversivelmente sofre hidrólise (reação química em que uma substância é dividida ou decomposta na presença de água), o mais importante processo de intemperismo químico de minerais silicatados (ESSINGTON, 2005; SPARKS, 2003).

Adicionalmente, em meio aquoso Al não permanece como íon livre, mas rodeado (coordenado octaedralmente) por seis moléculas de água formando o íon $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})^{3+}$ (LINDSAY, 1979; MC LEAN, 1965; SPARKS 2003) motivado por propriedades termodinâmicas.

De acordo com Mc Bride (1994) e Singh et al. (2017), cátions que exibem alto potencial iônico (P.I. Al= 6,0) ou seja, elevada relação carga/raio iônico tendem a polarizar água de modo suficientemente forte a promover hidrólise e romper as

ligações O-H. Dentre os cátions e ânions presentes usualmente na solução do solo, Al exibe a mais negativa entalpia de hidratação ($\Delta H_h = -4665 \text{ kJ mol}^{-1}$), o maior grau de hidratação (COTTON; WILKINSON, 1980; ESSINGTON, 2005).

O pH influencia não somente a solubilidade quanto a especiação de Al (KOPITTKKE; BLAMEY, 2016a), assim, em soluções com valores de $\text{pH} < 4,7$ a forma trivalente monomérica (hexa aquo-aluminium) é a forma dominante em solução, enquanto que $\text{pH} 4,7-6,5$ a espécie hidroxilada $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ predomina, após $\text{pH} 6,5-8,0$ a espécie $\text{Al}(\text{OH})_3$ é a espécie primária. Em condições de pH acima de 8,0 a espécie aniônica $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ predomina (Figura 1).

Vale ressaltar que de $\text{pH} 5,5 - 7,5$ a solubilidade de Al é baixa, coincidindo com a faixa de pH em que está completamente hidrolisado e permanece na forma $\text{Al}(\text{OH})_3$, por outro lado, abaixo de 5,5 e acima de 7,5 a concentração de Al aumenta substancialmente (LINDSAY, 1979; LINDSAY; WALTHALL, 1995; MC BRIDE, 1994; REHMUS et al., 2017; SPARKS, 2003).

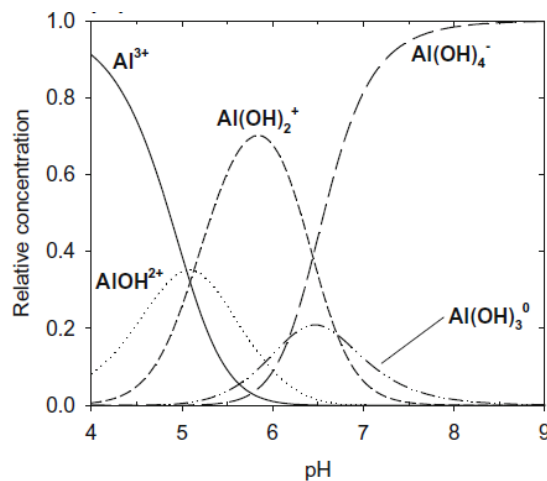


Figura 1. Influência do pH sobre atividade de Al e suas espécies Fonte: Kopittke; Blamey (2016a)

O fenômeno de biodisponibilidade e biotoxicidade de Al depende das espécies presentes na solução do solo (WALNA et al., 2005). O efeito tóxico das espécies ao crescimento de plantas decresce na seguinte ordem: $\text{Al}^{3+} > \text{Al}(\text{OH})^{2+} > \text{Al}(\text{OH})_2^+ > \text{Al}(\text{OH})_4^-$. A forma precipitada ou complexada por compostos orgânicos ou ainda ligado a fluoreto é supostamente não tóxica (ALLEONI et al., 2010; BLOOM; ERICH 1995; KINRAIDE, 1991; KOBAYASHI et al., 2013; REHMUS et al., 2017).

Embora seja sabido por mais de um século que a química de Al implica em efeitos que comprometem o crescimento de plantas, o mecanismo primário e o modo

de ação de Al, resultando em efeitos fitotóxicos, permanecem incompletamente elucidados (KOPITTKKE et al., 2014).

Graças a atual era digital, modelos computacionais podem ser utilizados como ferramentas preditoras da toxicidade de metais, conforme Li et al. (2012); Wolterbeek e Verburg (2001) aplicaram o modelo QICAR ao relacionar a toxicidade de metais às propriedades físico-químicas de íons tais como número atômico, estado de oxidação, regra iônica de Pauling, eletronegatividade e log da primeira constante de hidrólise à um grande número de macroorganismos, principalmente animais. Entretanto, há inexplicavelmente poucos estudos usando essa abordagem na interação íon-planta (KINRAIDE; YERMIYAHU, 2007).

As informações fornecidas pelo modelo QICAR estão fundamentadas em propriedades físico-químicas que relacionam o efeito de cátions ao mecanismo fisiológico de interesse. Desse modo, Kopittke et al. (2014) focaram na propriedade força de ligação de cátions a ligantes duros, os quais exibem as seguintes características: baixa polarizabilidade, alta eletronegatividade, pequenos raios e orbitais ocupados de alta energia. Observaram que os principais ligantes duros em sistemas biológicos aptos a serem ligados por cátions são constituídos por oxigênio e nitrogênio, incluindo os grupos funcionais $R-COO^-$; $R-PO_4^-$.

Fitotoxicidade de Al usualmente interfere em uma faixa de processos gerando marcas facilmente identificáveis em raízes em nível celular, incluindo inibição de divisão celular, rigidificação da parede celular, explosão na produção dos hormônios etileno e auxina (SINGH et al., 2017), ruptura do aparato de golgi, danos à integridade da membrana (Figura 2) (KOPITTKKE et al. 2016b), estresse oxidativo de plantas, resultando na produção de espécies de oxigênio reativas (ROS), peroxidação de estruturas celulares (NOGUEIROL et al., 2015a) (Figura 3).

Embora não está elucidado se Al causa este efeito ou se as plantas em si promovem estas mudanças na tentativa de reverter o efeito deletério da presença de Al (KOPITTKKE et al., 2016b).

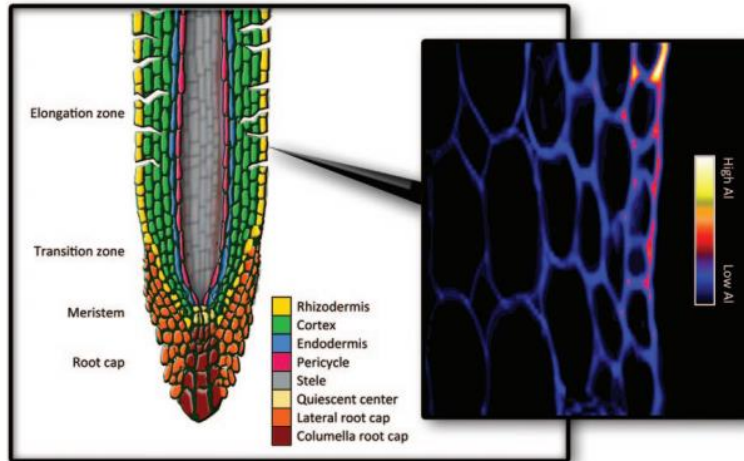


Figura 2. Diagrama exibindo os efeitos da toxicidade de Al com acúmulo na parede celular (Figura reproduzida de Kopittke et al. 2016b)

A partir de uma perspectiva subcelular, parece que a parede celular é o local de lesão primária devido a presença de Al, no entanto, há evidências da potencial toxicidade de Al ao ligar-se fortemente à parede celular graças à presença de cargas negativas (SINGH et al., 2017). Outra importante interação é ligação de Al com membrana plasmática, resultando em profundas mudanças nas suas propriedades incluindo propriedades, fluidez e integridade (KOPITTKKE et al., 2016b).

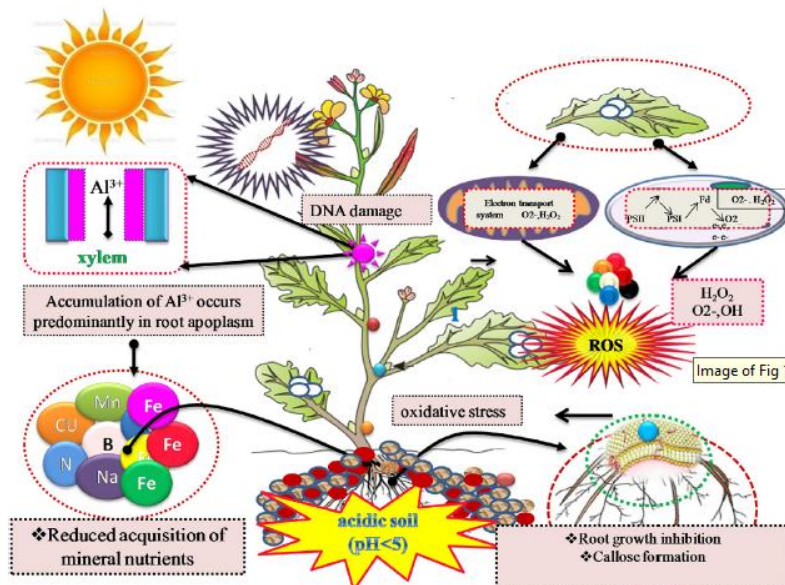


Figura 3. Potencial resposta integrada de planta ao estresse de Al (figura reproduzida de Singh et al. 2017).

3.4. Intemperismo, Relevância Climática e Ocorrência Global

Um estudo interdisciplinar envolvendo geólogos, químicos e pedólogos objetivando os possíveis mecanismos de ocorrências e implicações de Alisols parece bastante promissor. Dessa forma, o estudo do intemperismo de Alisols (FAO, 2001) é vital para uma compreensão confiável.

Intemperismo é o principal processo de transferência de massa do continente ao oceano (LIU et al., 2016), desenvolve papel chave na forma da superfície da terra, determina o suprimento de nutrientes aos ecossistemas e ainda pode regular os ciclos químicos globais de carbono no tempo geológico (LIU et al., 2016; ZHANG et al., 2015).

Diversos pesquisadores exploraram os mecanismos de intemperismo, mobilidade de elementos, translocação de colóides, fatores ambientais que controlam alterações em silicatos e seus efeitos sobre o status de fertilidade, focando em granitos (LIU et al., 2016; MARECHAL et al., 2015; SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2017), basaltos (BABECHUK et al., 2014; CANER et al., 2014), folhelhos (MA et al., 2011) variando de ambientes prístinos a agrossistemas em distintas condições climáticas.

Dessa forma, em decorrência destes solos originarem de diversos compartimentos geológicos, os solos desenvolvidos desses substratos influenciam numerosos serviços ecossistêmicos a exemplo do controle da qualidade da água, estoque de carbono, ciclagem biogeoquímica, status de fertilidade (SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2017) e ainda propiciam a pesquisa na evolução da Zona Crítica da Terra.

Alisols (FAO, 2001) podem ter um papel significativo como compensador e mitigador das mudanças climáticas ao estocar quantidades notáveis de carbono (Figura 4), graças às associações físico-químicas de Al com compostos orgânicos em ambientes naturais. Como o solo comporta duas a três vezes mais carbono que a atmosfera, um incremento relativamente pequeno no estoque pode exercer um efeito significativo nas mitigações de gases com alto poder de aquecimento (MINASNY et al., 2017).

Apesar das maiores proporções de sequestro de carbono (0-30 cm) estarem associadas aos Histosols e Andosols na América Latina e Caribe, essas classes ocorrem em terrenos muito localmente. Além disso, nem todos os solos sequestram

carbono nas mesmas proporções, principalmente os situados em desertos, pântanos e montanhas (MINASNY et. al., 2017).

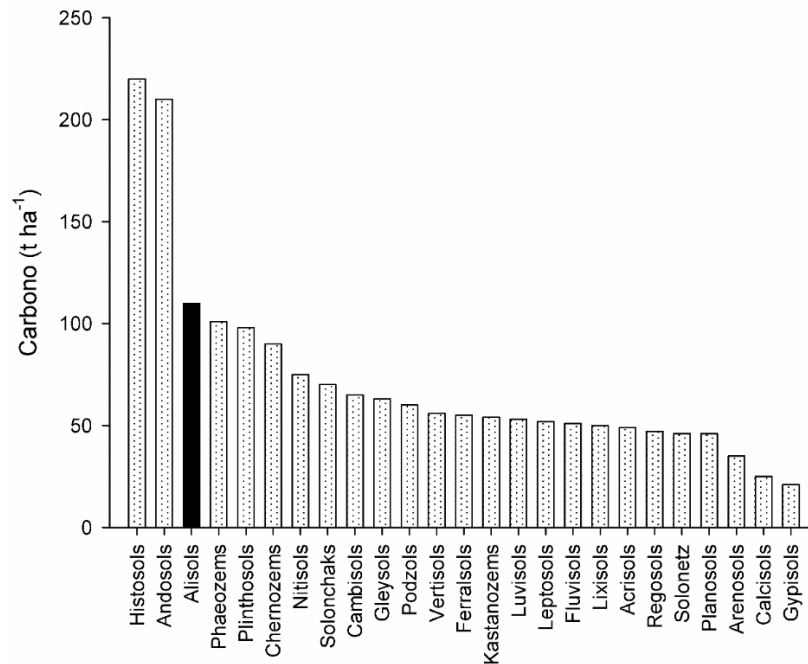


Figura 4: Sequestro de carbono em solos da América Latina e Caribe (0-30 cm) Fonte: Imagem alterada de Gardi et al. (2015).

Adicionalmente, mais importante que unicamente sequestrar carbono, é o efeito conjugado que os Alisols (FAO, 2001) exibem, de ocorrência em escala transcontinental e também da grande capacidade de sequestro por conta da físico-química inerente de Al. Assim, as maiores oportunidades de compensar as alarmantes concentrações de gases do efeito estufa são dos Alisols (Figura 5).

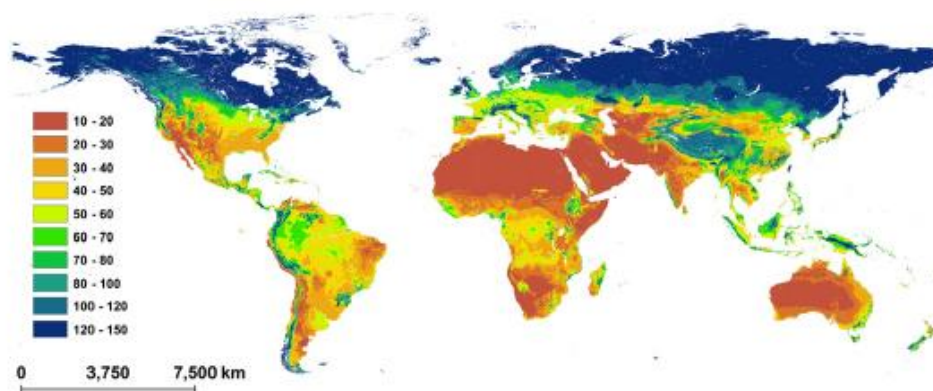


Figura 5. Estoque de carbono em solos de horizontes superficiais mundiais (0-30 cm) em toneladas por ha. Fonte: Minasny et al. (2017)

Globalmente, são estimados que acima de 100 milhões de hectares de terras exibem elevadas concentrações ambientalmente e agronomicamente relevantes de Alumínio na forma trocável, atribuíveis à presença destes solos (Figura 6).

Alisols ocupam vários terrenos tropicais e subtropicais, especialmente na América do Sul (SÁ et al., 2017). Os trópicos úmidos da América do Sul exibem maiores proporções de solos ácidos que os homólogos na Ásia e África, com 81% da superfície ocupada pelos Ferralsols, Acrisols e Alisols (GARDI et al., 2015). Na África, o segundo maior continente do mundo após a Ásia, os Alisols ocupam 1% do seu território (JONES et al., 2013).

Vários autores documentaram estes solos em terrenos africanos, australianos, na Ásia e ainda na Europa, em regiões subtropicais e mediterrâneas (Tabela 1) (FAO, 2001; IUSS/WRB, 2014; LEHNDORFF et al., 2016; QUÉNARD et al., 2011).

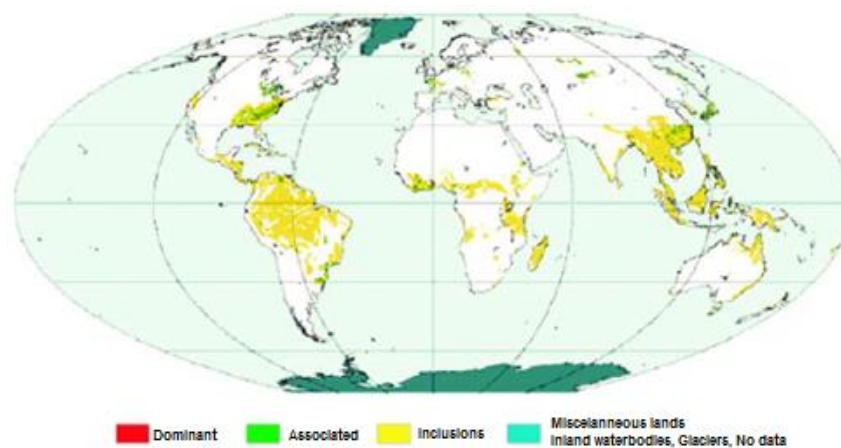


Figura 6. Distribuição de Alisols no mundo (Figura reproduzida de FAO, 1998)

No aspecto social, atualmente mais de 1 bilhão de pessoas são desprovidas de segurança alimentar (CAMARGO et al., 2017; STOCKING, 2003). Dois fatores complicadores nesse contexto são a necessidade de acordo com a FAO (ONU) de pelo menos 120 milhões de ha de terras agricultáveis para incrementar a produtividade de países em desenvolvimento até 2030, ressaltando que em um mundo pouco eficiente, a quantidade convertida poderá ser muito maior (JENKINS, 2003).

Tabela 1. Ocorrência de Alisols e correspondentes no mundo

País	Material de Origem	Referências
Indonésia	Andesito	Lehndorff et al. (2016); Houtermans et al. (2017)
China	Arenito/basalto	FAO/WRB (2001;2014); Winkler et al. (2016); Lehndorff et al. (2016)
Vietnã	-	Davtian et al. (2016); Podwojewski et al. (2011)
Taiwan	Sedimentos arenosos	Huang et al. (2017)
Filipinas	Folhelhos	Navarrete et al. (2011)
Japão	-	FAO/WRB (2001; 2014); Funakawa et al. (2008)
Bangladesh	-	Imamul Huq e Shoaib (2013)
Gana	-	Towett et al. (2015)
Nigéria	-	Towett et al. (2015)
Tanzânia	-	Towett et al. (2015); Kirsten et al. (2016)
Etiópia	substrato vulcânico	Fritzsche et al. (2007)
África do Sul	Arenito	Jones et al. (2013)
Bulgária	Xistos	Jordanova (2017)
Dinamarca	-	Adhikari et al. (2014)
Georgia	-	Urushadze et al. (2014)
Itália	Sed. Cascalhentos- Arenosos/Folhelhos	Catoni et al. (2016); Costantini et al. (2013); D'Amico et al. (2016)
USA (Ultisols)	Diversos materiais de origem	West et al. (2016)
Chile	Tufos vulcânicos	Gardi et al. (2015)
Peru	-	IUSS/WRB (1998)
México	Argilito/carbonatos	Gardi et al. (20015); Krasilnikov et al. (2016)
Cuba	-	Gardi et al. (2015)
Porto Rico	-	Gardi et al. (2015)
Jamaica	-	FAO/WRB (2001; 2014); Gardi et al. (2015)
Equador	-	FAO/WRB (2001; 2014)
Venezuela	-	FAO/WRB (2001; 2014)
Nicaragua	-	FAO/WRB (2001; 2014)
Colômbia	-	FAO/WRB (2001; 2014)
Madagascar	-	FAO/WRB (2001; 2014)
Austrália	-	FAO/WRB (2001; 2014)
Tasmânia	-	Cotching et al. (2009)

- : Não informado.

Além disso, a maior parte das terras agricultáveis do globo estão concentradas na faixa tropical (MARTINI et al., 2015) e muitas dessas exibem baixo status de fertilidade (JENKINS, 2003). Ademais, é reconhecido que há uma margem limitada para expansão de área cultivada no Sul da Ásia (JAHAN et al., 2016). Alisols ocupam grandes extensões de solos tropicais, os quais compreendem 40% da superfície terrestre e também nesta região se inserem mais de um terço dos solos do mundo (PAL et al., 2014).

A importância em detectar a ocorrência de Alisols é o fato que a baixa fertilidade desses solos é atribuída em grande parte à saturação de Al em sítios trocáveis, mas podem eventualmente exibirem produções satisfatórias após correção de acidez e pesada aplicação de fertilizantes (IUSS/WRB 1998). Além do aspecto biofísico, muitas comunidades não têm acesso aos nutrientes por meio de fertilizantes sintéticos, por conta dos elevados custos de aquisição (VAN STRAATEN, 2007).

Esses e outros desafios ambientais exibem características similares, a exemplo de serem globais, complexos, difíceis de solucioná-los e ainda são inter-relacionados (MC BRATNEY et al., 2014). Para superação do desafio alimentar, é necessário que os sistemas agrícolas sejam adequadamente nutridos de forma sustentável, com o fornecimento dos recursos limitantes, tais como elementos nutrientes (FAOSTAT, 2013; JAHAN et al., 2016).

O aporte de nutrientes em solos é determinado pelo balanço de entradas e perdas de modo que o desbalanço nutricional é um fenômeno de proporções mundiais (EO; PARK, 2016). A remediação dos Alisols é uma questão chave para solucionar o problema global de segurança alimentar, pois a humanidade até então pode estar apenas minerando-os.

A demanda para alimentos e “comodities” não alimentícias está estimada em aumentar em proporções de 75 -100% globalmente entre os anos 2010-2050 em muitos países em desenvolvimento, incluindo aqueles no Sul da Ásia (Índia, Bangladesh, Nepal), necessitando dobrar sua produção alimentar (JAHAN et al., 2016).

3.5. Pedogênese

A classe Alisols (FAO, 2001) foi primeiramente reconhecida em 1988 e posteriormente inserida no mapa de solos do mundo da Organização das Nações

Unidas para agricultura e alimentação (FAO) em 1990, juntando-se aos demais grupos de solos que possuem como pré-requisito taxonômico, a presença de um horizonte B argic (IUSS/WRB, 2014). Difere dos demais grupos com horizonte B argic tais como Luvisols, Acrisols e Lixisols, devido à alta capacidade de troca de cátions (CTC), indicativo da alta atividade de argila, associado à baixa saturação por bases (IUSS/WRB, 1998).

Conceitualmente, correspondem aos solos que exibem maiores conteúdos de argila nos horizontes em subsuperfície, motivados por processos pedogenéticos que promovem migração de argila (lessivagem ou argiluviação), tipificando o horizonte argic ou argilic (QUÉNARD et al., 2011). Adicionalmente, o horizonte argic deve possuir $CTC \geq 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila (solução de NH_4OAc 1 mol L^{-1} tamponada a pH 7,0), demonstrar alta atividade da fração argila, acoplado à baixa saturação por bases em 50-100 cm de profundidade (FAO, 2001; GARDI et al., 2015; IUSS/WRB, 2014; KRASILNIKOV et al., 2016).

A gênese de Alisols está usualmente associada à presença de etapas sequenciais que envolvem reações de hidrólise com alteração do material de origem e moderada lixiviação de sílica. Facilitando a ocorrência de alguns processos pedogenéticos a exemplo de bissialitização, propiciando a dominância de minerais secundários com estrutura 2:1 incluindo ilitas, vermiculitas e esmectitas formadas pela transformação das micas (FAO, 2001).

A segunda etapa envolve redistribuição e acumulação de argila promovendo a formação de horizonte *Argic* por meio do processo pedogenético lessivagem (FAO, 2001; QUÉNARD et al., 2011). Lessivagem, também denominada argiluviação, ocorre por meio de transferência significativa vertical de partículas de variado tamanho (de $2 \mu\text{m}$ a $10 \mu\text{m}$) de horizontes superficiais denominado horizonte eluvial ou E, para horizonte iluvial ou B (QUÉNARD et al., 2011).

É reconhecido que colóides podem ser dispersos e transportados pelo fluxo poros-água em solos resultando em simultânea mobilização e transferência de nutrientes e íons tóxicos (HUANG et al., 2016). A estabilidade coloidal é mediada pelo balanço das forças atrativas e repulsivas na dupla camada elétrica na superfície da partícula coloidal carregada (GOLDBERG et al., 1988; PANSU; GAUTHEYROU, 2006) bem como influenciada pelo tipo e quantidade de cátions trocáveis (HUANG et al., 2016; SEQUARIS, 2010).

A presença de horizonte Argic está relacionada com importantes implicações no campo pedogenético e geoquímico, graças à mobilização e redistribuição de partículas coloidais atuando como carreadores de nutrientes e também de contaminantes, inclusive de elementos assumidos de baixa mobilidade, tais como Ti e Zr (BUETTNER et al., 2014; HUANG et al., 2016).

A terceira etapa da gênese de Alisols envolve frequentemente intemperismo de minerais silicatados de alta atividade de argila. Vale ressaltar que esses minerais são instáveis em ambientes exauridos em sílica (FAO, 2001). Embora estejam em menores proporções, os minerais 2:1 controlam importantes propriedades físico-químicas tais como CTC, propriedades de sorção de nutrientes e contaminantes e ainda capacidade de retenção de água (BORCHARDT, 1989; CANER et al., 2014; DOUGLAS, 1989).

O modelo de pedogênese em Alisols parece indicar que os principais processos pedogenéticos incluem eluviação de argila, acumulação de matéria orgânica polimerizada e a transformação de minerais de argila primários em filossilicatos 2:1 (bissialitização) (KRASILNIKOV et al., 2016). Alta acidez indica abundância de Al, tornando provável a formação de importantes minerais hidróxi-Al tais como vermiculita e esmectita com hidróxi-Al (VHE e EHE) (DIXON e WHITE, 1999; DOUGLAS, 1989; MALLA, 2002).

Em decorrência da elevada complexidade do ambiente solo e rara presença de solos taxonomicamente puros, Alisols possuem horizonte argic, característica comum com Acrisols, Lixivisols, Luvisols e Albeluvisols. Os Alisols diferem das classes Acrisols e Lixivisols por conta destes solos não possuírem atividade de argila suficiente, bem como diferem dos Luvisols pela ausência nestes da propriedade do solo “alic” (Tabela 2) (FAO, 2001).

Tabela 2. Correspondência entre as classes do SiBCS, WRB/FAO e Soil Taxonomy

Alisols		
SiBCS	IUSS/WRB	Soil Taxonomy
Argissolos, Planossolos Nitossolos, Plintossolos	Alisols	Ultisols

Fonte: Embrapa (2013)

No campo taxonômico, Alisols correlacionam no Brasil com a classe dos Argissolos Vermelho Amarelo, Planossolos, Nitossolos e Plintossolos associado com alta atividade de argila (sem correção para carbono), com os Parabraunerden (Alemanha), com os Kurosols (Austrália), com os solos Yellow Podzolic, no Sistema de classificação bulgariano (JORDANOVA, 2017), com os Ultisols na classificação americana (Soil Taxonomy) e ainda com os Fersiasols no sistema taxonômico francês (FAO, 2001, IUSS/WRB, 2014).

3.6. Ocorrência de solos aluminosos no Brasil

Solos em regiões tropicais e subtropicais usualmente exibem problemas com acidez e altos níveis de Al trocável (DECHEN et al. 2015); NOGUEIROL et al., 2015a; NOGUEIROL 2015b). Acidez do solo acoplado com a toxicidade de Al e baixos níveis de bases trocáveis são tipicamente os mais importantes limitantes fatores para rendimentos agrícolas em regiões tropicais (ALLEONI et al., 2010; DING et al., 2014; RYAN et al., 2011).

Paradoxalmente, o Brasil figura entre os países da América Latina com ocorrência significativa de áreas com definições correspondentes aos Alisols (WRB, 2014), no entanto, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) liderado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), possui como pilares a sua natureza genética e morfológica, assim não reconhece atualmente (3ª edição) a ocorrência desses importantes solos nos maiores níveis categóricos (Ordens). Os Alisols, como classificados no WRB/FAO são incluídos na Ordem Argissolo (PEDRON et al., 2015) e em outras classes do SiBCS (Tabela 3) com ampla distribuição no território do país.

Tabela 3. Ocorrência de solos equivalentes aos Alisols no Brasil

Região	Referência
Nordeste (Pernambuco)	Costa (2012)
Nordeste (Bahia)	Brasil (1977)
Nordeste (Maranhão)	Anjos et al. (1995)
Sul (Santa Catarina)	Cunha et al. (2015)
Sudeste (Minas Gerais)	Nogueirol et al. (2015a) ; Nogueirol et al.(2015b)
Sul (Rio Grande do Sul)	Pedron et al. (2015)
Norte (Acre)	Almeida et al. (2010); Bernini et al. (2013); Delarmelinda et al. (2017)

No SiBCS, há uma porção significativa de Classes que são influenciadas pela dinâmica de Alumínio em variados níveis, principalmente no terceiro nível categórico (grande grupo) revelando a sua importância em solos originados de diversos substratos e em distintas condições ambientais (Quadro 1).

Quadro 1. Classes do SiBCS sob influência de Al

Argissolo Bruno Acinzentado alítico	Gleissolo Melânico Alítico	Planossolo Háptico Alítico
Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico	Gleissolo Háptico Alítico	Nitossolo Vermelho Alítico
Argissolo Amarelo Alítico	Cambissolo Húmico Alítico	Plintossolo Argilúvico Alítico
Argissolo Vermelho Alítico	Cambissolo Háptico Alítico	Plintossolo Háptico Alítico

Fonte: Embrapa (2013)

Para entender os processos envolvidos no desenvolvimento de Alisols (FAO, 2001) e definir melhores práticas de manejo, métodos rápidos e confiáveis de informações de distribuição espacial, identificando valores anômalos de Al são imprescindíveis. Na era digital, isto pode ser alcançado pelo uso de ferramentas tais como o sistema de informações geográficas (GIS) e sistema de posicionamento global (GPS), as quais provem meios de exibir áreas espacialmente impactadas que podem auxiliar produtores na tomada de decisão específica para cada local (BORRELLI et al., 2017; MORA et al., 2017).

3.7. Contexto Produtivo Nacional

O Brasil desempenha a sua vocação natural, o celeiro agrícola do mundo, ressaltado ainda no período da sua descoberta pelos colonizadores europeus (CAMARGO et al., 2017), ocupa uma posição de destaque por ser um dos líderes mundiais em produção e exportação de produtos agrícolas a exemplo de café, cana-de-açúcar, suco de laranja e carnes (DECHEN et al., 2015; MAPA, 2015).

Nos últimos 60 anos, a área cultivada no Brasil aumentou 171%, enquanto a produção aumentou 467% e a produtividade de cultivos de cereais acompanhou o crescimento de 336%. Há grande potencial de expansão porque a área de produção

agrícola no país é comparativamente pequena, ocupando 284 milhões de ha (somente 40% da área total do Brasil), enquanto ocupa 553 milhões de ha (59% da área total da China) e 411 milhões de ha nos Estados Unidos (45% da área total desse país) demonstrando o aspecto favorável ao Brasil (CAMARGO et al., 2017).

O incremento recente na produtividade brasileira e potencial de posteriores ganhos pode estar relacionado a alguns fatores biofísicos naturais tais como maior disponibilidade de solos, luz solar e do recurso água em relação a outros países não tropicais (CAMARGO et al., 2017; CONAB, 2015; MARTINI et al., 2015).

No aspecto hídrico, 13% das reservas de água doce mundiais estão no Brasil. Essa condição possibilita o Brasil de liderar o enfrentamento dos desafios globais (TOLLEFSON, 2010) graças também a presença de solos argilosos a exemplo de Alisols, em face do armazenamento natural de água.

De acordo com Camargo et al. (2017) e Tollefson (2010), dentro dos próximos 35 anos, o Brasil poderá produzir 40% do alimento que será consumido por aproximadamente 9 bilhões de pessoas sem a necessidade de grandes desmatamentos, apoiando-se em novos cultivos e técnicas de produção. Por outro lado, precedentes históricos e presentes indicam que quase toda nova conversão de terras ocorrerá na América do Sul e África sub-sahariana (JENKINS, 2003).

Uma considerável porção do território brasileiro é ocupado pela vegetação do tipo cerrado, esta é a maior savana tropical da América do Sul, localizada na parte central do Brasil (GARDI et al., 2015) a qual experimentou uma grande conversão biofísica motivados por aspectos naturais, a exemplo da presença de superfície plana com propriedades físicas favoráveis à produção, enquanto no aspecto químico, exibem baixo status de fertilidade natural, baixos valores de magnésio (Mg) (Figura 7) fósforo, Cálcio, usualmente ácidos e altas concentrações de Al trocável (NOGUEIROL et al., 2015a; NOGUEIROL 2015b; DECHEN et al., 2015).

Avanços científicos e tecnológicos destes solos ácidos tornou aproximadamente 10 milhões de ha do Cerrado brasileiro um celeiro agrícola mundial (LOPES et al., 2016).

Na Região Nordeste do Brasil, importantes áreas de Alisols têm sido continuamente cultivadas por gerações com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), desde o século XVI (SILVA et al., 2016). A indústria da cana englobando cultivo, processamento e produtos refinados representa um importante segmento da

economia do Brasil e outros países nos trópicos e subtropicais (INMAN-BAMBER et al., 2005; SILVA et al., 2016).

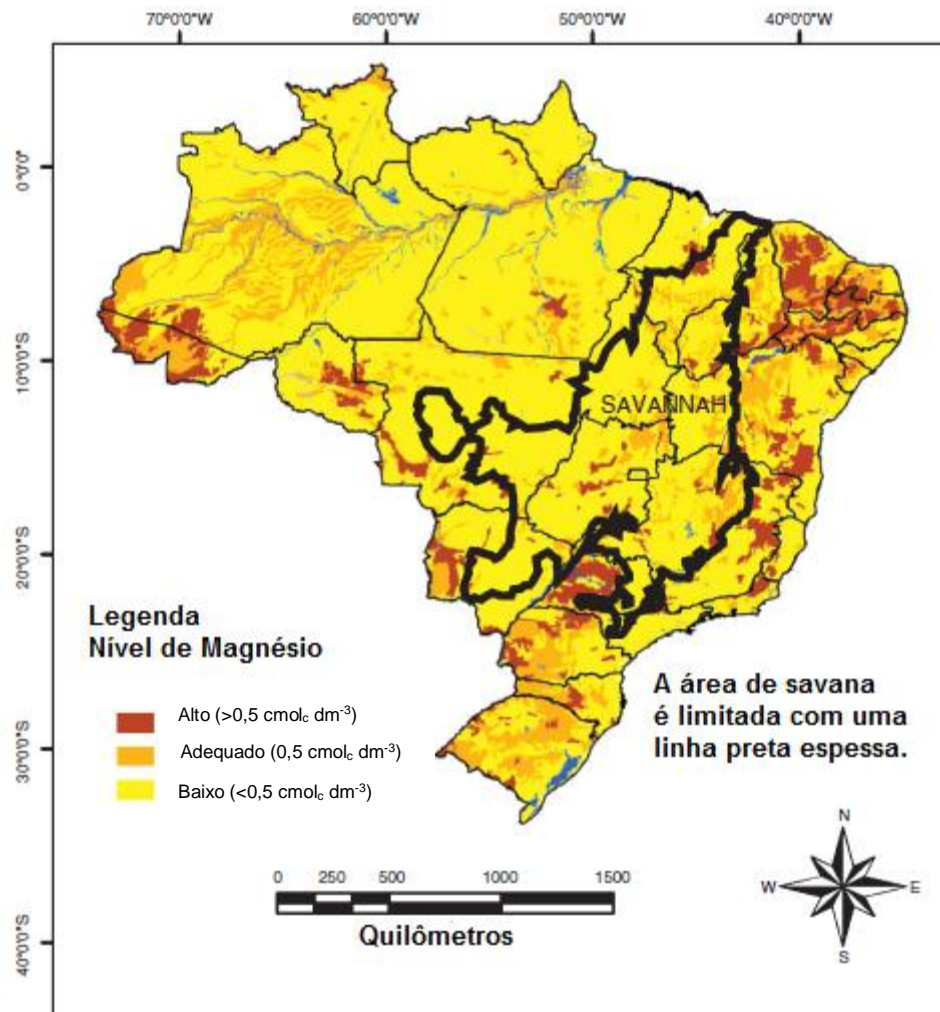


Figura 7. Conteúdo de Magnésio na camada de 0-30cm em área de savana.
Fonte: Dechen (2015).

A segurança energética figura como um dos grandes desafios globais e também as preocupações com as mudanças climáticas tem incrementado a demanda por biocombustíveis (FRACETTO et al., 2017). Desse modo, atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de bioetanol proveniente de cana, com incrementos significativos entre os anos de 2005 e 2015 (CONAB, 2015), possuindo uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo (CAMARGO et al., 2017), necessitando adicionar aproximadamente 7 milhões de ha (até 2021) para atender somente a demanda

nacional (CHERUBIN et al., 2015; CHERUBIN et al., 2016a; CHERUBIN et al., 2016b; GOLDEMBERG et al., 2014).

4. Considerações finais

Os Alisolos suportam florestas, culturas de alto valor econômico, dessa forma, contribuem substancialmente para o crescimento e alto-suficiência na produção de alimentos e segurança alimentar.

Apesar da importância da toxicidade de Al, muito permanece ainda desconhecido especialmente em relação aos mecanismos que comprometem o desenvolvimento vegetal. O adequado manejo e conservação do ambiente solo é um dos grandes desafios globais que a humanidade poderá enfrentar nos próximos anos.

As informações fornecidas nesta revisão são suficientes para fazermos conclusões sólidas que a humanidade mostra-se dependente e continuará dependente dos Alisols para sua manutenção, desde que sejam manejados corretamente.

Os Alisols desempenham um papel chave na mitigação dos gases do efeito estufa, devido a inerente química de Al, graças ao grande potencial de sequestro e elevação do tempo médio de residência de carbono.

5. Referências Bibliográficas

ADHIKARI, K.; MINASNY, B.; GREVE, M. B.; GREVE, M. H. Constructing a soil class map of Denmark based on the FAO legend using digital techniques. **Geoderma**. 214-215. 101-113. 2014.

ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystems services – A global review. **Geoderma**. 262. 101-111. 2016.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J. Acidity and Aluminum Speciation as Affected by Surface Liming in Tropical No-Till Soils. **Soil Science Society of America Journal**. 74. 3. 2010.

ALMEIDA, J. A.; CAMPOS, M. L.; FERREIRA, E. R. N.; GATIBONI, L. C. Formas de alumínio em solos do Acre. In: ANJOS, L.H.C. dos; SILVA, L.M. da; WADT, P.G.S. (Eds). Pesquisas Coligadas da IX Reunião Brasileira de Correlação e Classificação de Solos. Rio Branco: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 154p.

ANJOS, L. H. C.; FRANZMEIER, D. P.; SCHULZE, D. G. Formation of soils with plinthite on the toposequence in Maranhão State, Brazil. **Geoderma**. 64. 257-279. 1995.

ÁLVAREZ, E.; FERNÁNDEZ-MARCOS, M. L.; MONTERROSO, C.; FERNÁNDEZ-SANJURJO, M. J. Application of aluminium toxicity índices to soils under various forest species. **Forest Ecology and Management**. 211.227-239. 2005.

BABECHUK, M. G.; WIDDOWSON, M.; KAMBER, B. S. Quantifying chemical weathering intensity and trace element release from two contrasting basalt profiles, Deccan Traps, Índia. **Chemical Geology**. 363. 56-75. 2014.

BERNINI, T. A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREZ, D. V.; FONTANA, A.; CALDERANO, S. B.; WADT, P. G. S. Quantification of aluminium in soil of the Solimões formation, Acre State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 37. 1587-1598. 2013.

BLOOM, P. R.; ERICH, M. S. The quantification of aqueous aluminum. In: G. SPOSITO (Ed.) **The environmental chemistry of aluminum**. 1995. p. 1-38.

BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J. B. e Weed, S. B. (Ed.). **Minerals in soil Environment**. Soil Society of America Book Series. 1989. p. 675-727.

BORRELLI, P.; PANAGOS, P.; MARKER, M.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B. Assessment of the impacts of clear-cutting on soil loss by water erosion in Italian forests: First comprehensive monitoring and modelling approach. **Catena**. 149. 770-781. 2017.

BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Levantamento Exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia**. Recife (Embrapa/SNLCS – Boletim Técnico, 52. Sudene/DRN. Série Recursos de solos. 10). v. 01. 1977. 738 p.

BUETTNER, S. W.; KRAMER, M. G.; CHADWICK, O. A.; THOMPSON, A. Mobilization of colloidal carbon during iron reduction in basaltic soils. **Geoderma**. 221. 139-145. 2014.

CAMARGO, F. A. O.; SILVA, L. S.; MERTEN, G. H.; CARLOS, F. S.; BAVEYE, P. C.; TRIPLETT, E. W. Agriculture brazilian in perspective: great expectations vs reality. **Advances in Agronomy**. 141.53-114. 2017.

CANER, L.; RADTKE, L. M.; VIGNOL-LELARGE, M. L.; INDA, A. V.; BORTOLUZZI, E. C.; MEXIAS, A. S.; Basalt and rhyo-dacite weathering and soil clay formation under subtropical climate in Southern Brazil. **Geoderma**. 235 – 236. 100-112. 2014.

CATONI, M.; D'AMICO, M.; ZANINI, E.; BONIFACIO, E. Effect of pedogenic processes and formation factors on organic matter stabilization in alpine forest soils. **Geoderma**. 263. 151-160. 2016.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. E. P.; OLIVEIRA, D. M. S.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Sugarcane Expansion in Brazilian tropical soils-Effects of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 211. 173-184. 2015.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; FRANCO, A. L. C.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma**. 267. 156-168. 2016a.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; CERRI, C. E. P.; FRANCO, A. L. C.; TORMENA, C. A.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil Quality Indexing Strategies for Evaluating Sugarcane Expansion in Brazil. **Plos One**. 11. 3. 2016b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2015. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v. 2. Safra 2015/2016. n. 2 segundo levantamento. Brasília. Disponível em: <
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_51_14_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_15-16.pdf>. Acessado em 27 de março de 2017.

COSTA, E. U. C. **Caracterização e gênese de Argissolo e Nitossolos na bacia Cabo, Pernambuco**. 128 p. (Dissertação – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 2012.

COSTANTINI, E. A. C.; FANTAPPIÉ, M.; L' ABATE, G. **Climate and Pedoclimate of Italy**. In: **The Soils of Italy**. World Soils Book Series. Netherlands. Springer. 2013. 553 p.

COTCHING, W. E.; LYNCH, S.; KIDD, D. B. Dominant soil orders in Tasmania: Distribution and selected properties. **Australian Journal of Soil Research**. 47. 537-548. 2009.

COTTON, F. A.; WILKINSON, G. **Advanced Inorganic Chemistry**: A comprehensive text. John Wiley & Sons. 1367 p. 1980.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; BARBOZA, B. B. Relação entre alumínio extraível com KCl e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 38. 1387-1401. 2014.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; TESTONI, S. A.; BARBOZA, B. B. Formas de alumínio em solos ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de Al³⁺ extraível com KCl. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 39. 1362-1377. 2015.

DAHLGREN, R. A.; UGOLINI, F.C. Distribution and characterization of short-range-order minerals in Spodosols from the Washington Cascades. **Geoderma**. 48. 391-413. 1991.

D'AMICO, M. E.; CATONI, M.; TERRIBILE, F.; ZANINI, E. Contrasting environmental memories in relict soils on different parent rocks in the South-western Italian Alps. **Quaternary International**. 418. 61-74. 2016.

DAVTIAN, N.; MÉNOT, G.; BARD, E.; POULENARD, J.; PODWOJEWSKI, P. Consideration of soil types for the calibration of molecular proxies for soil pH and temperatura using global soil datasets and Viatnamese soil profiles. **Organic Geochemistry**. 101. 140-153. 2016.

DECHEN, A. R.; CARMELLO, Q. A. C.; MONTEIRO, F. A.; NOGUEIROL, R. C. Role of magnesium in food production: an overview. **Crop & Pasture Science**. 66. 1213-128. 2015.

DING, H. Y.; WEN, D. N.; FU, Z.W.; QIAN, H. F. The secretion of organic acids is also regulated by factors other tan aluminum. **Environmental Monitoring and Assessment**. 186. 1123-1131. 2014.

DIXON, J. B.; WHITE. **Soil Mineralogy. Laboratory Manual**. Agronomy. 626. Soil and Crop Sciences Department Texas A&M University. College Station, TX. 1999.

DOUGLAS, L. A. Vermiculites. In: DIXON, J. B. e Weed, S. B. (Ed.). **Minerals in soil Environment**. Soil Society of America Book Series. 1989. p. 635-674.

DRISCOLL; C. J.; VAN BREEMEN; N. MULDER, J. Aluminum chemistry in a forested Spodosol. **Soil Science Society of America Journal**. 49. 437-444. 1985.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília. CNPS. 353 p. 2013.

ESSINGTON, M. E. **Soil and Water Chemistry: A Integrative Approach**. CRC Press. 553p. 2005.

EO, J.; PARK, KEE-CHOON. Long-term effects in imbalanced fertilization on the composition and diversity of soil bacterial community. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 231. 176-182. 2016.

FAO, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Lectures Notes on the Major Soils of the World. Rome. 2001.

FAOSTAT. **Food, Agriculture Organization Corporate Statistical Database**. 2013. FAO. On line Statistical Database on 2013 Food Balance Sheets for 42 Selected Countries (and Updated Regional Aggregates). FAO. Rome. Italy. Disponível em: <<http://www.faostat3.fao.org/download/FB/FBS/E.php>>. Acessado em 23 de fevereiro de 2017.

FAMOSO. A. N.; CLARK, R. T.; SHAFF, J. E.; CRAFT, E.; Mc COUGH, S. R.; KOCHIAN, L. V. Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. **Plant Physiology**. 153. 1678-1691. 2010.

FRACETTO, F. J. C.; FRACETTO, G. G. M.; BERTINI, S. C. B.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; SIQUEIRA NETO, M. Effect of agricultural management on N₂O emissions in the Brazilian sugarcane yield. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 109. 2015-213. 2017.

FUNAKAWA, S.; WATANABE, T.; KOSAKI, T. Regional trends in the chemical and mineralogical properties of upland soils in humid Asia: With special reference to the WRB classification scheme. **Soil Science and Plant Nutrition**. 54. 751-761. 2008.

GARCÍA-RODEJA, E.; NÓVOA, J. C.; PONTEVEDRA, X.; MARTÍNEZ-CORTIZAS, A.; BUURMAN, P. Aluminium fractionation of European volcanic soils by selective dissolution techniques. **Catena**. 56. 155-183. 2004.

GARDI, C.; ANGELINI, M.; BARCELÓ, S.; COMERMA, J.; CRUZ GAITARDO, C.; ENCINA ROJAS, A.; JONES, A.; KRASILNIKOV, P.; MENDONÇA SANTOS BREFIN, M. L.; MONTANARELLA, L.; MUNIZ UGARTE, O.; SCHAD, P.; VARA RODRÍGUEZ, M. I.; VARGAS, R.; RAVINA DA SILVA, M. **Soil Atlas of Latin America and the Caribbean, European Commission**. Luxembourg. 2015. 176 p.

GOLDEMBERG, J.; MELLO, F. F. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Meeting the global demand for biofuels in 2021 through sustainable land use change policy. **Energy Policy**. 69. 14-18. 2014.

GOLDBERG, S.; SUAREZ, D. L.; GLAUBIG, R. A. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid-zone soils. **Soil Science**. 146 (5). 317-325. 1988.

GREENWOOD, N. N.; EARNSHAW, A. **Chemistry of the elements**. 2 nd. 1341 p. 1997.

HAGVAL, K.; PERSSON, P.; KARSSON, T. Speciation of Aluminum in soils and stream waters: The importance of organic matter. **Chemical Geology**. 417. 32-43. 2015.

HOUTERMANS, M.; LEHNDORFF, E.; UTAMI, S. R.; SAID-PULLICINO, D.; ROMANI, M.; KÖLBL, A.; KAISER, K.; CAO, Z. H.; AMELUNG, W. Nitrogen sequestration under long-term paddy management in soils developed on contrasting parent material. **Biology and Fertility of Soils**. Article in press. 1-12. 2017.

HUANG, L.-M.; ZHANG, X.-H.; SHAO, M.-A.; ROSSITER, D.; ZHANG, G. L. Pedogenesis significantly decreases the stability of water-dispersible soil colloids in a humid tropical region. **Geoderma**. 274. 45-53. 2016.

HUANG, W.-S.; JIEN, S.-H.; HUANG, S.-T.; TSAI, H.; HSEU, Z.-Y. Pedogenesis of red soils overlaid coral reef terraces in the Southern Taiwan. **Quaternary International**. 441. 62-76. 2017.

IMAMUL HUQ, S. M.; SHOAIB, J. U. M. **The Soils of the Bangladesh**. World Soils Book Series. Switzerland. Springer. 2013. 159 p.

INMAN-BARBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SMITH, D. M.; THORBURN, P. J. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Fields Crops Research**. 92. 115-117. 2005.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World Reference Base for Soil Resources**. DECKERS, J. A.; NACHTERGAELE, F. O. SPAAGAREN, O. C. (Eds). Austria. 1998. 69 p.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World Reference Base for Soil Resources**. World Soil Resources Report N° 106. FAO. Rome. 2014. 203 p.

JAHAN, M. A. H. S.; HOSSAIN, A. SARKAF, M. A. R.; SILVA, J. T. Productivity impacts and nutrient balances of an intensive potato-mungbean-rice crop rotation in multiple environments of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 231. 79-97. 2016.

JARVIS, S. C. Forms of Aluminium in some acid permanent grassland soils. **Soil Science**. 37. 211-222. 1986.

JENKINS, M. Prospects for biodiversity: State of Planet. **Science**. 302. 2003.

JONES, A.; BREUNING-MADSEN, H.; BROSSARD, M.; DAMPHA, A.; DECKERS, J.; DEWITTE, O.; GALLALI, T.; HALLETT, S.; JONES, R.; LE ROUX, P.; MICHELI, E.; MONTANARELLA, L.; SPAARGAREN, O.; THIOMBIANO, L.; VAN RAST, E.; YEMEFACK, M.; ZOUGMORÉ, R. **Soils Atlas of Africa**. European Commission. Luxembourg. FAO. 2013. 178p.

JORDANOVA, N. **Soil Magnetism. Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture**. Bulgaria. 2017. 439 p.

JUO, A. S.; KAMPRATH, E. J. Copper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive aluminium pool in acid soils. **Soil Science Society of America Journal**. 43. 35-38. 1979.

KAISER, K.; ZECH, W. Defects in estimation of aluminium in humus complexes of podzolic soils by pyrophosphates extraction. **Soil Science**. 161. 452-458. 1996.

KINRAIDE, T. B. Identity of the rhizotoxic aluminum species. **Plant Soil**. 134. 167-178. 1991.

KINRAIDE, T. B.; YERMIYAHU, U. A scale of metal ion binding strengths correlating with ionic charge, Pauling electronegativity, toxicity, and other physiological effects. **Journal of Inorganic Biochemistry**. 101. 1201-1213. 2007.

KIRSTEN, M.; KAYA, A.; KLINGER, T.; FEGER, K.-H. Stocks of soil organic carbon in forest ecosystems of the Eastern Usambara Mountains, Tanzania. **Catena**. 137. 651-659. 2016.

KOBAYASHI, Y.; KOBAYASHI, Y.; WATANABE, T.; SHAFF, J. E.; OHTA, H.; KOCHIAN, L. V.; WAGATSUMA, T.; KINRAIDE, T.; KOYAMA, H. Molecular and physiological analysis of Al³⁺ and H⁺ Rhizotoxicities at Moderately Acidic conditions. **Plant Physiology**. 163. 180-192. 2013.

KOPITTKKE, P. M.; MENZIES, N. W.; WANG, P.; Mc KENNA, B. A.; WEHR, J. B.; LOMBI, E.; KINRAIDE, T. B.; BLAMEY, F. P. C. The rhizotoxicity of metal cations is related to their strength of binding to hard ligands. **Environmental Toxicology and Chemistry**. 33. 268-277. 2014.

KOPITTKKE, P. M.; BLAMEY, F. P. C. Theoretical and experimental assessment of nutrient solution composition in short-term studies of aluminium rhizotoxicity. **Plant Soil**. 406. 311-326. 2016a.

KOPITTKKE, P. M.; MENZIES, N. W.; WANG, P.; BLAMEY, F. P. C. Kinetics and nature of aluminum rhizotoxic effects: a review. **Journal of Experimental Botany**. 67. 4451-4467. 2016b.

KRASILNIKOV, P.; GARCÍA-CALDERÓN, N.; POGOSYAN, L. Polygenetic soils of montane cloud forest in Sierra Gorda, Mexico. **Geoderma Regional**. 7. 366-375. 2016.

LEHNDORFF, E.; HOUTERMANS, M.; WINKLER, P.; KAISER, K.; KÖLBL, A.; ROMANI, M.; SAID-PULLICINO, D.; UTAMI, S. R.; ZHANG, G. L.; CAO, Z. H.; MIKUTTA, R.; GUGGENBERGER, G.; AMELUNG, W.; Black carbon and black nitrogen storage under longer-term paddy and paddy management in major reference soil groups. **Geoderma**. 284. 214-225. 2016.

LI, Y.; LI, X-L.; DU, X-Y.; WANG, M.; XIN, J.; HU, Y.; WANG, Y. Using the QICAR model to correlate metal ion characteristics with toxicity order numbers. **Human and Ecological Risk Assessment**. 18. 1255-1270. 2012.

LIN, H. Three Principles of Soil Change and Pedogenesis in Time and Space. **Soil Science Society of America Journal**. 75. 6. 2049-2070. 2011.

LIN, C.; COLEMAN, N. T. The measurement of exchangeable aluminium in soils and clays. **Soil Science Society of America Proceedings**. 24. 444-446. 1960.

LINDSAY, W. L. **Chemical Equilibria in Soils**. John Wiley & Sons. 445 p. 1979.

LINDSAY, W. L.; WALTHALL, P. M. **The Solubility of Aluminum in Soils**. In: **Sposito, G. The Environmental Chemistry of Aluminum**. CRC Press Inc. New York. 464 p. 1995.

LIU, W.; LIU, C.; BRANTLEY, S. L.; XU, Z.; ZHAO, T.; LIU, T.; YU, C.; XUE, D.; ZHAO, Z.; CUI, L.; ZHANG, Z.; FAN, B.; GU, X. Deep weathering along a granite ridge in a subtropical climate. **Chemical Geology**. 427. 17-34. 2016.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in Cerrado region of Brazil. **Advances in Agronomy**. v. 137. 1-72. 2016.

MA, L.; JIN, L.; BRANTLEY, S. L. How mineralogy and slope aspect affect REE release and fractionation during shale weathering in the Susquehanna/Shale Hills Critical Zone Observatory. **Chemical Geology**. 290. 31-49. 2011.

MAPA, Plano Agrícola e Pecuário 2015-2016. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Brasília. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-agricola-e-pecuario-1/arquivos-pap/cartilha_pap_2015_16.pdf>. Acesso em 03 de maio de 2017.

MALLA, P. B. Vermiculites. In: DIXON, J. B.; SCHULTZ, D. G. **Soil Mineralogy with environmental applications** (Ed.). Soil Science Society of America Book Series n. 7. 2002. p. 501-529.

MARECHAL, L.; TURPAULT, M. P.; RANGER, J. Effect of granite Crystal grain size on soil properties and pedogenic processes along a lithosequence. **Geoderma**. 249-250. 12-20. 2015.

MARTINI, D. Z.; MOREIRA, M. A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FORMAGGIO, A. R.; DALLA-NORA, E. L. Potential land availability for agricultural expansion in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**. 49. 35-42. 2015.

MC BRATNEY, A.; FIELD, D.; KOCH, A. The Dimensions of soil security. **Geoderma**. 213. 203-213. 2014.

MC BRIDE, M. **Environmental Chemistry of Soils**. Oxford University Press. 411 p. 1994.

MC LEAN, E. O.; HEDDLESON, M. R.; BARTLET, R. J.; HOLOWAYCHUK, N. Aluminium in soils: I. Extraction methods and magnitudes in clays and Ohio soils. **Soil Science Society of America of Proceedings**. 22. 382 – 387. 1959.

MC LEAN, E. O. Aluminum. In: BLACK, C. A. Methods of soil Analysis. **Part 2. Chemical and Microbiological Properties**. 1965.1572 p.

MINASNY, B.; MALONE, B. P.; Mc BRATNEY, A. B.; ANGERS, D. A.; ARROUAYS, D.; CHAMBERS, A.; CHAPLOT, V.; CHEN, Z-S.; CHENG, K.; DAS, S. B.; FIELD, D. J.; GIMONA, A.; HEDLEY, C. B.; HONG, S. Y.; MANDAL, B.; MARCHANT, B. P.; MARTIN, M.; Mc CONKEY, B.; MULDER, V. L.; O'ROUKE, S.; RICHER-DE-FORGES, A.; ODEH, I.; PADARIAN, J.; PAUSTIAN, K.; PAN, G.; POGGIO, L.; SAVIN, I.; STOLBOVOY, V.; STOCKMAN, U.; SULAEMAN, Y.; TSUI, C-C.; VAGEN, T-G.; WESEMAEL, B. V.; WINOWIECKI, L. Soil carbono 4 per mile. **Geoderma**. 292. 59-86. 2017.

MORA, J. L.; HERRERO, J.; WEINDORF, D. C. Multivariate Analysis of soil salinization-desalination in a semi-arid irrigated district of Spain. **Geoderma**. 291. 1-10. 2017.

NAVARRETE, I. A.; TSUTSUKI, K.; ASIO, V. B.; TANI, M.; SUETA, J. Chemical, Mineralogical, and morphological characteristics of a late quaternary sedimentary rocks-derived soils in Leyte, Philippines. **Soil Science**. 12. 699-708. 2011.

NOGUEIROL, R. C.; MONTEIRO, F. A.; GRATÃO, P. L.; BORGIO, L.; AZEVEDO, R. A. Tropical soils with high aluminum concentrations cause oxidative stress in two tomato genotypes. **Environmental Monitoring and Assessment**. 187 (3). 2015a.

NOGUEIROL, R. C.; MONTEIRO, F. A.; AZEVEDO, R. A. Tropical soils cultivated with tomato: fractionation and speciation of Al. **Environmental Monitoring and Assessment**. 187 (4). 2015b.

PAL, D. K.; WANI, S. P.; SAHRAWAT, K. L.; SRIVASTAVA, P. Red ferruginous soils of tropical Indian environments: A review of the pedogenic processes and its implications for edaphology. **Catena**. 121. 260-278. 2014.

PANSU, M.; GAUTHEYROU, J. **Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganics Methods**. Springer. 2006. 993 p.

PAVAN, M. Alumínio em solos ácidos do Paraná: relação entre o alumínio não-trocável, trocável e solúvel, com o pH, CTC, percentagem de saturação de Al e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 7. 39-46. 1983.

PEDRON, F. A.; OLIVEIRA, R. B.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; KILCA, R. V. Boundary between soil and saprolite in Alisols in the South of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 39. 643-653. 2015.

PIMENTEL, D. Soil erosion: a food and environmental threat. **Environment, Development and Sustainability**. 8. 119-137. 2006.

PODWOJEWSKI, P.; POULENARD, J.; NGUYET, M. L.; ROUW, A.; NGUYEN, V. T.; PHAM, Q. H.; TRAN, D. T. Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner-tropical soil catena in the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. **Catena**. 87. 226-239. 2011.

POSCHENRIEDER, C.; GUNSÉ, B.; CORRALES, I.; BARCELÓ, J. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. **Science of the Total Environment**. 400. 356-368. 2008.

QUÉNARD, L.; SAMOUËLIAN, A.; LAROCHE, B.; CORNU, S. Lessivage as a major process of soil formation: A revisitation of existing data. **Geoderma**. 167-168. 135-147. 2011.

REHMUS, A.; BIGALKE, M.; BOY, J.; VALAREZO, C.; WILCKE, W. Aluminum cycling in a tropical montane forest ecosystem in southern Ecuador. **Geoderma**. 288. 196-203. 2017.

RYAN, P. R.; TYERMAN, S. D.; SASAKI, T.; FURUICHI, T.; YAMAMOTO, Y.; ZHANG, W. H.; DELHAIZE, E. The identification of aluminum-resistance genes provides opportunities for enhancing crop production on acid soils. **Journal of Experimental Botany**. 62. 9-20. 2011.

SADE, H.; MERIGA, B.; SURAPU, V.; GADI, J.; SUNITA, M. S. L.; SURAVAJHALA, P.; KISHOR, P. B. K. Toxicity and tolerance of aluminum in plants: tailoring plants to suit to acid soils. **Biometals**. 29. 187-210. 2016.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LORENTZ, K.; HUNGRIA, M.; CARVALHO, P. C. F. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**. 98. 102-112. 2017.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 24. 787-796. 2000.

SEQUARIS, J. M. Modelling the effects of Ca²⁺ and clay-associated organic carbon on the stability of colloids from topsoils. **Journal Colloid Interface Science**. 343 (2). 408-414. 2010.

SILVA, F. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; ARAÚJO, P. R. M.; SILVA, L. H. V.; SILVA, R. F. Assessing heavy metal sources in sugarcane Brazilian soils: an approach using multivariate analysis. **Environmental Monitoring and Assessment**. 188. 457. 2016.

SILVA, Y. J. A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; STRAATEN, P. V.; SOUZA Jr, V. S.; FERREIRA, T. O. Weathering rates and carbono storage along a climossequence of soils developed from contrasting granites in northeast Brazil. **Geoderma**. 284. 1-12. 2016.

SILVA, Y. J. A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; STRAATEN, P. V.; BIONDI, C. M.; SOUZA Jr. V. S. Effect do I and S-type granit parent material mineralogy and geochemistry on soil fertility: A multivariate statistical and Gis- based approach. **Catena**. 149. 64-72. 2017.

SINGH, S.; TRIPATHI, D. K.; SINGH, S.; SHARMA, S.; DUBEY, N. K.; CHAUHAN, D. K. VACULIK, M. Toxicity of Aluminium on various leves of plant cells and organism: A review. **Environmental and Experimental Botany**. 137. 177-193. 2017.

SPARKS, D. L. **Enviromental Soil Chemistry**. 2 nd. Academic Press. 2003.

SPOSITO, G. (Ed.) **The environmental chemistry of aluminum**. CRC Press. Boca Raton. Flórida. 1996. 480 p.

STOCKING, M. A. Tropical Soils and Food Security. **Science**. 302. 1356-1359. 2003.

TOLLEFSON, J. The global farm. **Nature**. v. 466. 2010.

TOWETT, E. K.; SHEPHERD, K. D.; TONDOH, J. E.; WINOWIECKI, L. A.; LULSEGED, T.; NYAMBURA, M.; SILA, A.; VAGEN, T.-G.; CADISH, G. Total elemental composition of soils in Sub-Saharan Africa and relationship with soil forming factors. **Geoderma Regional**. 5. 157-168. 2015.

URUSHADZE, T. F.; KVRIVISHVILI, T. O.; SANADAZE, E. V. An experience in Using the World Reference Base for Soil Resources for soils of western Georgia. **Eurasian Soil Science**. 47. 752-760. 2014.

VAN STRAATEN, P. **Rocks for crops: Agrominerals of sub-saharan Africa**. Guelph, Ontario. 2002. 348 p.

WEST, L. T.; SINGER, M. J.; HARTEMINK, A. E. **The Soils of the USA**. World Soils Book Series. Switzerland. Springer. 2016. 385 p.

WALNA, B.; SPYCHALSKI, W.; SIEPAK, J. Assessment of potentially reactive pools of aluminium in poor forest soils using two methods of fractionation analysis. **Journal of Inorganic Biochemistry**. 99.1807-1816. 2005.

WILLIAMS, R. J. P. What is wrong with aluminium. **Journal of Inorganic Biochemistry**.76. 81-88. 1999.

WINKLER, P.; KAISER, K.; KÖLBL, A.; KÜHN, T.; SCHAD, P.; URBANSKI, L.; FIEDLER, S.; LEHNDORFF, E.; KALBITZ, K.; UTAMI, S. R.; CAO, Z.; ZHANG, Z.; JAHN, R.; KÖGEL-KNABNER, I. Response of Vertisols, Andosols, and Alisols to paddy management. **Geoderma**. 261. 23-35. 2016.

WOLTERBEEK, H.T.; VERBURG, T, G. Predicting metal toxicity revisited: general properties vs. specific effects. **The Science of the Total Environment**. 279.87-115. 2001.

ZHANG, Z-J.; LIU, C-Q.; ZHAO, Z-Q.; CUI, L-F.; LIU, W-J.; LIU, T- Z.; LIU, B-J.; FAN, B-L. Behavior of redox-sensitive elements during weathering of granite in subtropical área using X-ray absorption fine structure spectroscopy. **Journal of Asian Earth Sciences**. 105. 418-429. 2015.

CAPÍTULO II

GÊNESE DE SOLOS ALUMINOSOS E DINÂMICA DE ALUMÍNIO EM AMBIENTE SEDIMENTAR NO BRASIL

Gênese de solos aluminosos e dinâmica de alumínio em ambiente sedimentar no Brasil

RESUMO

Alguns solos da região nordeste do Brasil exibem conteúdo de Al extraível por KCl 1 mol L^{-1} 25 a 30 vezes maior que os típicos solos intemperizados de regiões tropicais e subtropicais. Altas temperaturas e intensa precipitação favorecem mineralogia caulínica e oxídica, no entanto, algumas áreas contêm solos com abundância de minerais com estrutura 2:1 e limitada informação sobre suas propriedades. Neste estudo, objetivou-se investigar propriedades macromorfológicas, físicas, químicas e mineralógicas bem como focou-se à dinâmica de Al em perfis de solos, como importantes componentes da acumulação de carbono em sedimentos Cretáceos, localizados em área costeira do Atlântico Sul. Amostras de solos foram coletadas de todos os horizontes, com as quais realizou-se caracterização macromorfológica, física, química de rotina, mineralógica e composição química total, com os dados calculou-se o balanço de massas. Os solos exibiram características primariamente influenciadas pelo seu material de origem sedimentar, diversidade de classes texturais, variaram de franco-arenosa a argila, reação ácida, baixo status de fertilidade e alto conteúdo de Al associado a considerável ocorrência de minerais de argila 2:1 com hidróxi-Al entrecamada, incluindo ilita, esmectita com hidróxi-Al entrecamadas (HIS) e caulinita. Os maiores valores de Al trocável sugerem dissolução de espécies de Al não trocáveis provenientes da dissolução das entrecamadas. Mineralogia do solo mais complexa sugere que a ocorrência destes solos não é consistente com o atual clima quente, mais úmido e que os altos conteúdos de Al existentes nos horizontes subsuperfície foram herdados do material de origem, com domínio de sedimentos conglomeráticos entremeados com folhelhos. Os maiores estoques de carbono foram observados em concordância aos maiores conteúdos de Al em horizontes subsuperfície, portanto, provou-se que a química do Al desenvolve relevante papel mitigador de gases aquecedores da atmosfera.

Palavras-chave: Acumulação de sedimentos. Solos tropicais. Minerais de argila 2:1. Hemisfério Sul. Estoque de carbono.

Genesis of aluminous soils and dynamic of aluminium in sedimentary environment in Brasil

ABSTRACT

The geological environment of South America shows on its northeast portion different compartments, areas over crystalline basement and sedimentary basin making marginal limits to the crystalline areas. The Brazilian marginal basins results from the severance process of the mega continent West-Gondwana which took place from the superior Jurassic to Cretaceous (138-127 Ma) leading to the development of the South Atlantic rift and tectonic subsidence. These sedimentary formations are different between basins, in several aspects like stratigraphic, originating distinct saprolites and consequently soils with different characteristics. In this context are located the sedimentary basins Sergipe-Alagoas, located at the northeast of the country, forming a straight line along brazilian east coast. The sub-basin Alagoas, located at northeast Brazil occupies the coastal portion of the state with same name, also defined as rift type basin. The pedogenesis of aluminuous soils and their chemical behavior are still not much known, especially at Northeast Brazil. The objective of this study was to detect aluminuous soils, their impact on climatic approaches, suitability of worldwide soil classification systems to brazilian soils and how to understand the most active pedogenetic processes, study the dynamics of aluminum and characterize the mineral assemblage. Soil samples were collected form all horizons, on then macro morphological, physical, routine chemistry, mineralogical and total chemical composition analysis took place, with data were obtained mass balance. The soils showed characteristics primarily influenced by their sedimentary parent material, several textural classes, varying from Sandy- loam to clay, acid reaction, low fertility status and high associated Al content and considerable occurrence of 2:1 clay minerals with hydroxi-Al between layers, including illite, esmectite with HIS and caulinite. The increasing in exchangeable Al content suggests dissolution of non-exchangeable species coming from dissolution of HIS. The complexity of soil mineralogy suggests that the occurrence of these soils does not match with the hot weather of present climate, more humid and that the high Al contents existing on the subsurface horizons were inherit form the parent material, dominated by conglomeratic sediments with "folhelhos" surrounding it. The greater carbon stocks were observed in accordance to the higher Al contents on subsurface horizons, so, it is proved that the Al chemistry develop relevant function mitigating atmosphere heating gases.

Keywords: Sediment accumulation. Tropical Soils. 2:1 clay minerals. South Hemisphere. Carbon stock.

6.1. Introdução

A existência e distribuição de ambientes sedimentares no continente Sul-Americano estão relacionados com a formação e evolução tectônica de Bacias Sedimentares marginais.

As Bacias Marginais brasileiras resultaram do processo de ruptura do megacontinente *Gondwana*-Oeste ocorrido do Jurássico superior ao Cretáceo (138-127 Ma), culminando no desenvolvimento do rift Atlântico-sul e subsidência tectônica (BUENO, 2004; FLORÊNCIO, 2001).

O Brasil é um dos países com maiores extensões de margem continental do mundo, englobando diversos segmentos com rochas sedimentares de variadas composições e abundância elementar (MOHRIAK, 2003).

Em face do longo tempo de sedimentação, essas formações sedimentares são relativamente muito espessas, e diferenciam-se entre bacias, em vários aspectos, tais como estratigráficos, originando saprolitos distintos e conseqüentemente solos com características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e geoquímicas distintas (DELARME LINDA, 2015).

Alinhada a essa situação, os solos derivados destes substratos exibem claramente características muito diferentes, pois ocorre comumente grande variabilidade de material de origem entre e dentro de cada contexto geológico dessas bacias.

Nesse contexto, ocorre a Macro Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas como exemplo, localizada no extremo Nordeste do país, a qual ocupa uma faixa alongada relativamente paralela à linha de costa leste brasileira, englobando largura média de aproximadamente 40 km. Além disso, representa uma das mais proeminentes bacias de importância geológica por guardar o mais completo registro de estágios tectônicos e sucessões estratigráficas (deposicionais) da margem leste e sudeste brasileira (DANTAS; CALHEIROS, 1985; FEIJÓ, 1994).

Seu limite ao norte é o Alto de Maragogi com a Bacia Pernambuco-Paraíba enquanto ao Sul, limita-se com a Bacia de Jacuípe por meio do sistema de falhas Vaza Barris. A área emersa destas bacias ocupa 13.000 Km² e a porção submersa alcança 20.000 Km² totalizando 33.000 Km², dimensões totais maiores que importantes países europeus como a Bélgica (EUROSTAT, 2017). Alguns autores

dividem em duas áreas distintas, denominadas de sub-Bacia Sergipe e sub-Bacia Alagoas (FEIJÓ,1994).

A referida Macro Bacia é subdividida em Sub-Bacia Sergipe e Sub-Bacia Alagoas. A Sub-Bacia Alagoas, localizada no Nordeste do Brasil ocupa toda a faixa litorânea do estado homônimo, é definida também como uma Bacia do tipo rift. Está limitada ao norte com a Bacia Pernambuco pelo Alto de Maragogi, e ao Sul, com a Bacia de Sergipe, pelo Alto de Japoatã-Penedo (CRUZ, 2008; FEIJÓ, 1994; LIRA, 2004).

Das formações sedimentares na Sub-Bacia Alagoas, a Formação Maceió compõe uma ampla unidade litoestratigráfica constituída de sedimentos de natureza muito distintos.

Esta Formação exhibe sedimentos de variada granulometria, a exemplo de sedimentos argilo-siltosos com estratificação complexa e em menores proporções ocorrência de folhelhos (ABREU,1990).

Na Formação Maceió, evidências indicam a ocorrência de solos com elevados valores de Alumínio, denotando o caráter alítico (Embrapa, 2013) relacionados com sedimentos de granulação variada (ARAÚJO FILHO et al., 2012; MARQUES et al., 2013).

Este estudo trata a questão da ocorrência de solos aluminosos em ambiente sedimentar, buscando deduzir os principais processos pedogenéticos atuantes, passando pela compreensão geoquímica e dinâmica de Al na fração sólida. Nesse sentido, nossos objetivos foram i) avaliar a assembleia de minerais, bem como sua evolução intempérica; ii) investigar as associações entre formas de Al e argilominerais presentes; iii) avaliar a influência de outros elementos na mobilidade e distribuição de Al em perfis de solos.

6.2. Material e Métodos

6.2.1. Descrição da Área de estudo e Procedimento de Amostragem

O estudo foi realizado na Sub-Bacia Alagoas, Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil (Figura 1). Esta importante sub-Bacia faz parte da MacroBacia Sergipe-Alagoas, tectonicamente a região representa a fase de rompimento (rift) da porção ocidental do

megacontinente *Gondwana* e abertura do Atlântico Sul (BUENO, 2004; FLORÊNCIO, 2001).



Figura 1. Figura esquemática da Bacia Sergipe-Alagoas e local de amostragem dos solos (imagem reproduzida de Florêncio, 2001).

A área de estudo está restrita à porção sedimentar alagoana da bacia (Figura 2), zona rural de Porto Calvo. Uma catena composta de quatro perfis de solos foram selecionados após observações locais de campo e levantamento bibliográfico de mapas geológicos (Figura 4) (ARAÚJO FILHO et al., 2012; MARTINS, 1987).

Os Perfis 1, 2 e 3 estão localizados sobre os sedimentos cretácicos na Formação Maceió, composta de sedimentos de natureza muito distintos (Figura 3), exibe sedimentos argilo-siltosos com estratificação complexa e em menores proporções ocorrência de folhelhos (ABREU, 1990).

Enquanto o Perfil 4 é desenvolvido de depósito sedimentar Cenozóico do Grupo Barreiras, composto de materiais argilosos ou argilo-arenosos com espessura variada (CORRÊA, 2008), o qual cobre toda a costa nordeste brasileira e parte da região sul (PRANDEL et al. 2017)

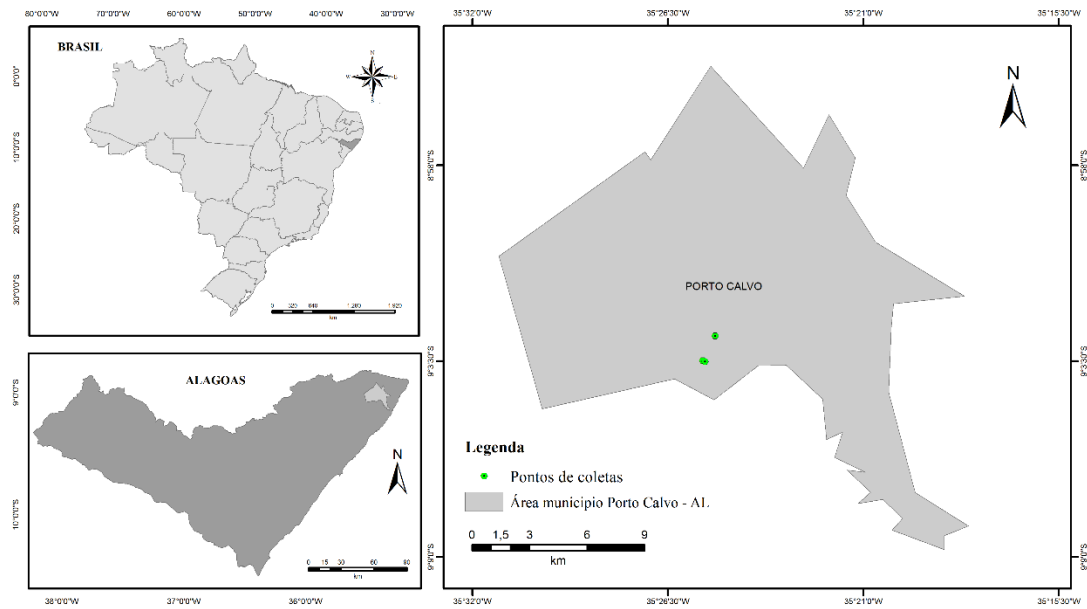


Figura 2. Localização da área de amostragem dos solos na sub-Bacia Alagoas, Nordeste do Brasil.



Figura 3. Sedimentos argilo-siltosos e folhelhos da Formação Maceió, sub-Bacia Alagoas, Nordeste do Brasil.

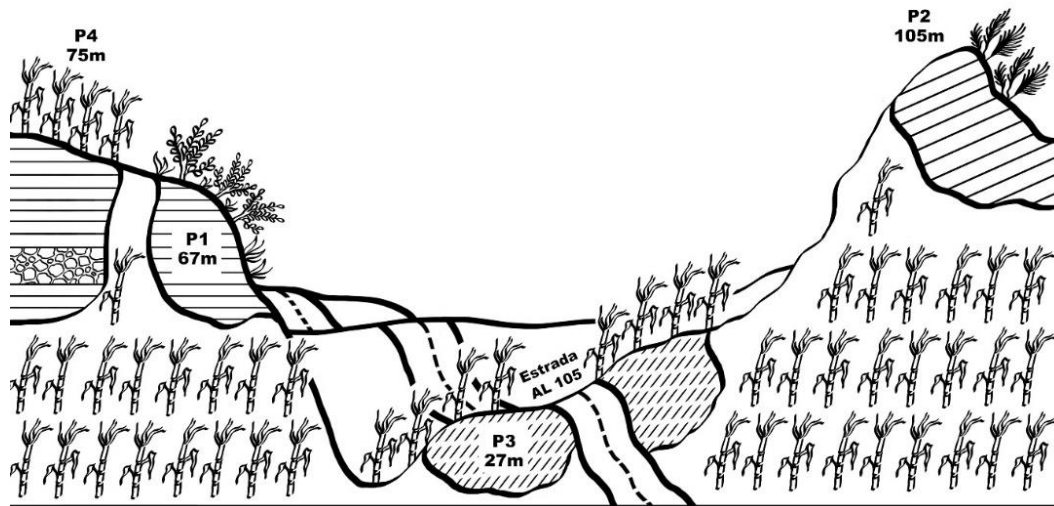


Figura 4. Representação esquemática da catena com os locais de coleta dos solos da sub-Bacia Alagoas, Alagoas, Brasil.

No campo meteorológico, a região de estudo é descrita de acordo com a classificação de Köppen (Köppen, 1931), com clima do tipo As' , definido como tropical quente e úmido com precipitação média anual 1000-2000 mm, temperaturas médias do ar iguais ou superior a 24°C com amplitude de aproximadamente 5°C , bem como elevada umidade relativa do ar, sempre superior a 50% (INMET, 2017).

No aspecto florístico, a vegetação nativa é predominantemente do tipo floresta tropical subperenifólia, distribuídas ao longo do ecossistema Mata Atlântica. No entanto, a referida área neste estudo foi desmatada para uso agrícola com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), sobre um relevo do tipo baixo platô costeiro dissecado-Tabuleiros Costeiros plano a suave ondulado nos topos e ondulado e fortemente ondulado nas encostas (Figura 5) (ARAÚJO FILHO et al., 2012).

A catena consiste de quatro perfis, o Perfil 1 está situado em uma altitude de 67 m ($09^{\circ} 03' 29,4''$ S; $35^{\circ} 25' 30,7''$ W); o Perfil 2 está localizado em 105 m ($09^{\circ} 02' 47,8''$ S; $35^{\circ} 25' 09,6''$ W), o Perfil 3 foi localizado em 27 m ($09^{\circ} 03' 29,4''$ S; $35^{\circ} 25' 30,7''$ W); enquanto o Perfil 4 foi localizado em 75 m ($09^{\circ} 03' 31,2''$ S; $35^{\circ} 25' 26,8''$ W).

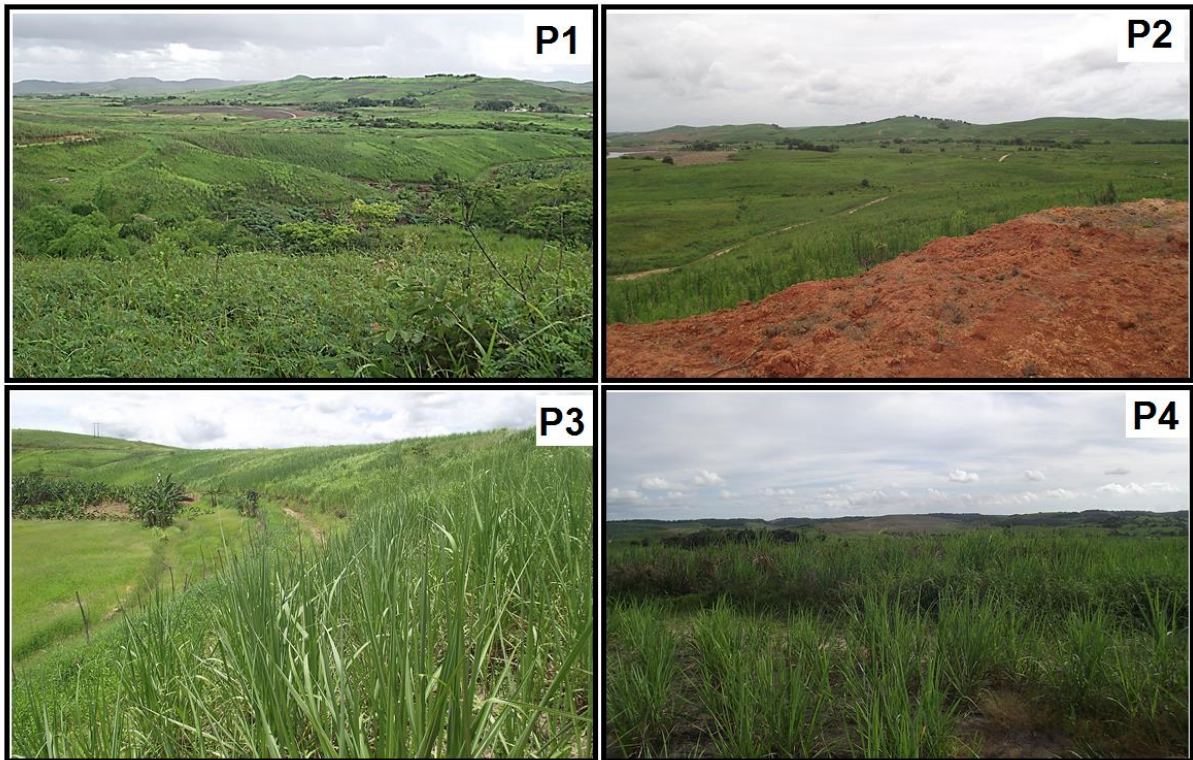


Figura 5. Paisagens das áreas de coletas dos solos; P1: ambiente do perfil 1; P2: ambiente do perfil 2; P3: ambiente do perfil 3; P4: ambiente do perfil 4.

Descrições macromorfológicas foram realizadas utilizando manual padrão para descrição de solos, conforme proposto por Santos et al. (2013). As cores foram identificadas utilizando Carta de Cores de solos Munsell (2000) e a classificação taxonômica conforme os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013).

Amostras de horizontes dos perfis de solos foram coletadas, secas ao ar e passadas em peneira (malha < 2,0 mm) para obter a terra fina seca ao ar (TFSA), anterior as análises laboratoriais.

6.2.2. Análises Físicas e Químicas

A análise granulométrica foi realizada usando o método do hidrômetro e a solução de Hidróxido de Sódio ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) como dispersante químico. A fração areia

(2000-53 μ m) foi obtida por peneiramento úmido, enquanto as frações silte (53-2 μ m) e argila (<2 μ m) foram obtidas por decantação conforme a lei de Stokes (GEE; OR, 2002; ALMEIDA, 2008).

Os valores de pH foram mensurados em água na relação 1:2,5 (relação solo: solução). Os cátions trocáveis Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos por meio da solução de KCl (1 mol L⁻¹) e mensurados com espectrofotometria de absorção atômica (AAS), enquanto K⁺, Na⁺ e P foram extraídos com solução de Mehlich-1 (MEHLICH, 1953). Destes elementos, K⁺ e Na⁺ foram determinados por fotometria de chama, enquanto P foi mensurado por meio de colorimetria.

Concentrações de cátions foram usadas para calcular percentagem de saturação por alumínio. Capacidade de troca de cátions (CTC) foi determinada pelo método de acetato de sódio (1 mol L⁻¹, pH 8,2) de acordo com Chapman (1965).

A amostra foi inicialmente saturada com solução de sódio, posteriormente lavada com álcool etílico 99 %. Adicionalmente, o complexo de troca inicialmente adsorvido com sódio, foi deslocado com solução acetato de amônio (1 mol L⁻¹, pH 7,0), a determinação de Na⁺ por fotometria de chama representou a capacidade de troca de cátions.

Íons H⁺ e Al³⁺ (acidez potencial) foram extraídos com solução de acetato de cálcio (0,5 mol L⁻¹ em pH 7,0) e determinada por titulação com solução de hidróxido de sódio (0,025 mol L⁻¹), padronizado com solução de hidrogenoftalato de potássio (0,025 mol L⁻¹), e ainda carbono orgânico total foi determinado via combustão úmida (WALKLEY; BLACK, 1934).

A densidade de partícula do solo foi determinada de acordo com Blake e Hartge (1986), utilizando balão volumétrico e álcool etílico como líquido penetrante. A densidade do solo foi determinada utilizando o método do anel volumétrico e torrão parafinado de acordo com Embrapa (2011). Os estoques de carbono foram calculados usando a equação (1).

$$\text{Estoques de COT} = \text{COT} \times \text{DS} \times \text{D} \quad (1)$$

Em que, COT: Concentração de carbono orgânico total (%); DS (g cm⁻³): Densidade do solo seco e D: espessura na camada ou horizonte amostrado.

6.2.3. Dissolução Seletiva

Ferro e Alumínio identificado pelo subscrito “DCB” (Fe_{DCB}), foi extraído por meio de dissolução seletiva de óxidos de Fe pedogênicos na fração terra fina seca ao ar (TFSA) usando o ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), seguindo a sequência de três extrações sucessivas a cada 15 minutos ($80^{\circ}C$) para determinar óxidos de Fe cristalinos (MEHRA; JACKSON, 1960), enquanto óxidos de baixa cristalinidade de Fe e Al sejam de fração mineral ou orgânica, identificados pelo subscrito “oxa” (Fe_{oxa}) foram extraídos por meio de uma única extração com oxalato de amônio ($(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$, pH 3,0), (MCKEAGUE; DAY, 1966).

Os conteúdos de Al ligados medianamente e fortemente à matéria orgânica do solo foram extraídos com solução de Cloreto de Cobre ($CuCl_2$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) (JUO; KAMPRATH, 1979) e Pirofosfato de sódio ($Na_4P_2O_7$), respectivamente (MCKEAGUE et al., 1971). As concentrações de ferro e alumínio foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica (AAS).

6.2.4. Controle de qualidade dos dados

Para garantir a precisão analítica dos dados, todas as análises químicas foram preparadas em duplicatas com análises de brancos. Do mesmo modo, as medições realizadas por espectrofotometria de absorção atômica (AAS) apenas foram executadas quando o coeficiente de determinação (r^2) da curva de calibração foi maior que 0,99.

Curva de calibração foi realizada a cada 10 amostras, de modo que sempre que o desvio padrão esteve acima de 10%, as amostras foram novamente analisadas.

6.2.5. Composição química total

Semi-quantificação de elementos maiores (maior que 1,0% de abundância na crosta terrestre) conforme proposto por Hancock e Skinner (2000), foi realizada por espectrometria de Fluorescência de raios-X (FRX) usando um espectrômetro Rigaku ZSX Primus II equipado com tubo de Rh e 7 cristais analisadores. Cerca de 10 gramas

de TFSA de todos os horizontes foram maceradas em moinho de bolas de ágata até que todo o material pudesse ultrapassar a tela de nylon® (<200 mesh).

Feito isto, uma porção da amostra foi seca em 110°C, em seguida as amostras foram mecanicamente comprimidas com 30 toneladas de força até tornarem pellets para semi-quantificação dos elementos maiores SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ e FeO_T (incluindo Fe(II) e Fe(III)), expressos em peso % óxidos. Dados da perda ao fogo foram determinados a partir da redução em massa de 1,0 g de amostras calcinadas em 1000°C por 2 h.

Para quantificar o intemperismo, calculou-se balanço de massa e índices de intemperismo baseado no conteúdo elementar, assumindo relacionamento entre perdas e ganhos de elementos móveis (K), moderadamente móveis (Al) em relação a um elemento potencialmente imóvel (Ti) (BRIMHALL; DIETRICH, 1987; CHADWICH et al., 1990).

$$\tau_{j.w} = \left(\frac{C_{j.w} \cdot C_{i.p}}{C_{i.w} \cdot C_{j.p}} \right) - 1$$

Em que $\tau_{j,w}$ Tau (adimensional) refere-se à função de transporte de massa em um sistema aberto, C é a concentração do elemento imóvel (i) ou elemento móvel (j) no material de origem (p) ou no horizonte analisado (w). Neste estudo, a camada mais profunda minimamente alterada foi considerada equivalente ao material de origem.

Valores negativos de Tau implicam perdas do elemento (j) considerado enquanto valores positivos indicam enriquecimento em relação à camada mais profunda minimamente alterada. Um valor de zero significa que o elemento j é tão imóvel no horizonte analisado (w) quanto o assumido elemento imóvel (i). Além de Ti, os elementos Zr e Nb são comumente considerados imóveis na maioria dos ambientes geológicos.

Para registro da uniformidade do material de origem, curvas de distribuição da concentração de ZrO₂ bem como de elementos maiores (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O_{3t}, MgO, K₂O) conforme proposto por Anda et al. (2009) foram utilizadas para avaliar diferenças de horizontes dentro dos perfis.

Além disso, dados elementares foram usados para calcular tendências do grau de intemperismo das amostras de solos por meio do índice químico de alteração (CIA), amplamente reconhecido, proposto por Nesbitt e Young (1982).

$$(CIA) = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + CaO + K_2O)] \times 100$$

6.2.6. Análises mineralógicas

Para melhor compreensão dos processos pedogenéticos, bem como da composição mineralógica, faz necessário a aplicação de ferramentas adequadas para elucidação, destacando a difratometria de Raio-X (DRX) empregada na identificação de fases inorgânicas cristalinas do solo.

Análises de Difratometria de raios-X (DRX) foram realizadas para identificar os minerais nas frações areia (2000-53 μ m), silte (53-2 μ m) e argila (<2 μ m) dos horizontes A, horizontes diagnósticos B e horizontes mais profundos. As distintas frações foram separadas após dispersão com Calgon e decantação para as frações silte e argila.

Precedendo as análises, a fração argila foi submetida aos seguintes procedimentos padrões: eliminação da matéria orgânica (peróxido de hidrogênio a 15%) bem como eliminação dos óxidos de ferro via método ditionito-citrato-bicarbonato (MEHRA; JACKSON, 1960) em face destas substâncias atuarem como agentes floculantes, desorientando os argilominerais e interferindo na qualidade dos difratogramas gerados.

Um Difratômetro Shimadzu 6000 foi usado, ajustado com monocromador de grafite configurado para selecionar radiações CuK α , com fonte de raios-X operando com os parâmetros de 40 kV e 30 mA. A taxa de varredura foi de 1° min⁻¹ ao longo da faixa de 3°-40° (2 θ) exibindo variações de acordo com a fração analisada e o tratamento aplicado.

Amostras das frações areia, silte e argila natural (na forma de pó) foram analisadas por DRX. Alíquotas da fração argila (<2 μ m) receberam os seguintes tratamentos padrões; foram subsequentemente saturadas com K (solução de KCl 1 mol L⁻¹) e outra parte das argilas foram saturadas com Mg (solução de MgCl₂ 1 mol L⁻¹) sendo em seguida lavadas para remover o excesso de sais.

Adicionalmente, as argilas foram dispostas de forma orientada sobre lâminas de vidro e registrados difratogramas de amostras, saturadas com KCl 1 mol L⁻¹ em 25°C e aquecidas por 3 horas em 110°C, 350° e 550°C. As amostras saturadas com Mg foram solvatadas com glicerol. A identificação dos minerais de argila foi baseada em critérios a partir do espaçamento interplanar em resposta ao tratamento usado descrito por Brown e Brindley (1980), Jackson (1975) e Moore e Reynolds (1997).

6.2.7 Análises Estatísticas

O relacionamento entre conteúdo de Al extraído por KCl 1 mol L⁻¹, frações de Al extraído por dissolução seletiva (Fe_{oxa}, Fe_{DCB}, Al_{oxa}; Al_{DCB}), estoque de carbono e propriedades dos solos foram avaliadas por meio de matriz de correlação de Pearson. As análises foram realizadas usando o programa estatístico STATISTICA 7.0 (STATSOFT INC., 2008).

6.3. Resultados

6.3.1. Atributos Morfológicos, Físicos e Químicos

Os solos foram classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo (Perfil 1), exibindo sequência de horizontes Ap-BA-Bt-C-C/Cr-Cr; Argissolo Vermelho (Perfil 2) sequência Ap, Bt, B/C, C1, C2; Argissolo Vermelho-Amarelo (Perfil 3), sequência Ap-Bt1-Bt2-C-C/Cr; Argissolo Amarelo (Perfil 4), sequência Ap-AB-BA-Bt-Bc-B/C (Tabela 1).

Os perfis são profundos e moderadamente drenados, demonstrando moderado grau de desenvolvimento pedogenético os quais podem estar associados à natureza sedimentar do material de origem (Figura 6).

Os horizontes Bt dos Perfis 1 e 4 avaliados exibiram mistura de cores amarelas e vermelhas, com valores e cromas predominantemente ≤ 6 (cor úmida) variando de amarelo-brunado (10 YR 6/8) a bruno-amarelado (10 YR 5/6) denotando principalmente no perfil 4 processo de xantização, relacionada com a ocorrência de goethita na fração argila natural.

Tabela 1. Propriedades macromorfológicas dos perfis de solos

Hor.	Prof. (cm)	Cor (úmida)		Textura	Estrutura (tipo/tamanho/grau)	Consistência (seca, úmida/ molhada)
		Matiz	Coloração variegada			
Perfil 01 – Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredóxico						
Ap	0-19	10 YR 3/3	-	Franco-arenosa	BS/PM/MO	M/FR/LPL-PG
BA	19-45	10 YR 5/6	5 YR 4/6	argila	AS/PM/MO	MDED/FRF/MPL-PG
Bt	45-97	10 YR 6/8	5 YR 4/6	argila	AS/PM/MOFT	MDED/F/MPL-PG
C	97-122	10 YR 6/3	2,5 YR 4/6	argila	BA/PM/MOFT	MDED/FMF/PL-PG
C/Cr	122-151	10 YR 6/3	2,5 YR 4/6	argila	BA/PM/FT	MDED/FMF/PL-PG
Cr	151-195+	10 YR 7/1	2,5 YR 3/6	argila	BA/PM/FT	MDED/FMF/PL-PG
Perfil 02 – Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico						
Ap	0-14	7,5 YR 3/2	-	argila	AS/PM	ED/FMF/PL-LPG
Bt	14-38	2,5 YR 4/6	-	argila	AS/P	ED/F/PL-PG
B/C	38-63	5 YR 4/6	-	argila	AS/P	-/F/PL-PG
C1	63-143	5 YR 4/6	-	argila	AS/PMP	-/FMF/LPL-LPG
C2	143-200	5 YR 4/6	-	franco-argilosa	AS/PMP	-/FMF/LPL-LPG
Perfil 03 – Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredóxico						
Ap	0-18	10 YR 3/2	-	franco-arenosa	BS-GR/PM/MAFMO	MLD/MFR/LPL-LPG
Bt1	18-34	2,5 YR 4/6	7,5 YR 4/3	argila	AS/PM/MOFT	DED/FMF/PL-LPG
Bt2	34-75	2,5 YR 4/6	2,5 YR 4/6	argila	AS/PM/MOFT	DED/FMF/PL-LPG
C	75-117	2,5 YR 3/6	-	argila	BA/PM/MOFT	DED/FMF/PL-LPG
C/Cr	117-200	2,5 YR 3/6	-	franco-argilo-arenosa	BA/PM/MOFT	LDD/F/LPL-PG
Perfil 04 – Argissolo Amarelo Districoeso abrupto petroplíntico						
Ap	0-16	10 YR 3/2	-	franco-arenosa	BS/P/F	SSM/SMF/NPL-NPG
AB	16-47	10 YR 4/3	-	franco-arenosa	BS/M/MAF	LD/FR/NPL-NPG
BA	47-68	10 YR 4,4	-	franco-argilo-arenosa	AS/P/F	DED/FRF/LPL-LPG
Bt	68-132	10 YR 5/6	-	franco-argilo-arenosa	BS/M/MO	DED/FMF/PL-PG
Bc	132-164	7,5 YR 5/8	-	concreções	-	DED
B/C	164-210	5 YR 5/8	-	argilo-arenosa	BA/M/F	DED/FRF

Estrutura (GR: granular; BS: bloco subangular; AS: bloco angular e subangular; PM: pequena e média; M: média; PMP: pequena e muito pequena; MA: maciça; F: fraca; MO: moderada; FT: forte); consistência (SS: solta; M: macia; LD: ligeiramente dura; D: dura; MD: muito dura; ED: extremamente dura; S: solta; FR: friável; MFR: muito friável; F: firme; MF: muito firme; NPL: não plástica; LPL: ligeiramente plástica; PL: plástica; MPL: muito plástica; NPG: não pegajosa; LPG: ligeiramente pegajosa; PG: pegajosa).

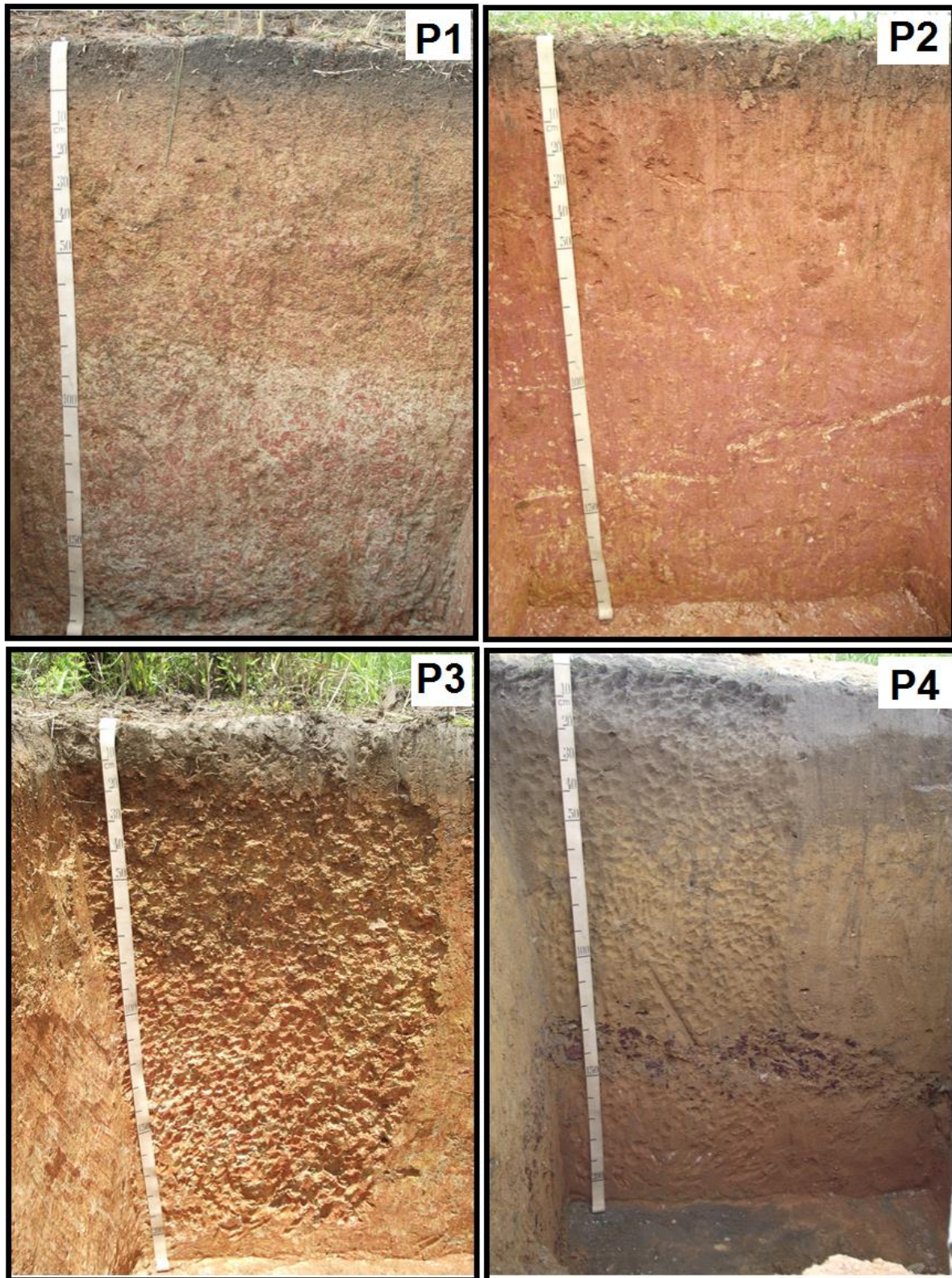


Figura 6. Perfis de solos estudados. P1: Argissolo Vermelho-Amarelo, P2: Argissolo Vermelho; P3: Argissolo Vermelho-Amarelo; P4: Argissolo Amarelo.

As distintas cores nos perfis de solos sugerem igualmente distintas condições ambientais de pedogênese, de modo que o Perfil 1 (Argissolo Vermelho-Amarelo) exibiu mistura de cores tais como amareladas com matizes de 10 YR ao longo da sequência Ap-BA-Bt-C-C/Cr-Cr e coloração vermelha na sequência BA-Bt-C-C/Cr-Cr.

O Perfil 2 (Argissolo Vermelho) exibiu coloração bruno-escuro ocorrendo no horizonte A (7,5YR 3/2 úmida), coloração vermelha foi observada (5YR 4/6) nos outros horizontes. Perfil 3 (Argissolo Vermelho-Amarelo) observou-se coloração bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2 úmida) ocorrendo em superfície e mudou com predomínio de cores vermelhas ao longo da sequência Bt1-Bt2-C-C/Cr. denotando processo de rubificação relacionada à presença de hematita.

O Perfil 4 exibiu predomínio de coloração bruno (10 YR 4/3) e mudou para coloração amarelada somente no horizonte Bc e B/C.

Em relação à estrutura, os perfis 1 e 2 contêm blocos angulares e subangulares e a existência de estrutura maciça em alguns horizontes dos perfis 3 (horizonte Ap) e 4 (horizonte AB). Estas estruturas podem estar relacionadas à moderada pedogênese.

Exceto o Perfil 2, os demais solos exibiram altas concentrações de argila com incremento em profundidade, propiciando a existência de acentuado gradiente textural e diversidade de classes texturais, variando entre francoarenosa e argila. O conteúdo de argila variou de 50 a 646 g kg⁻¹ nos horizontes superficiais e incrementou para os horizontes subsuperficiais (Tabela 2).

O conteúdo de partículas da fração areia têm distribuição irregular, destacando-se em superfície de alguns horizontes dos Perfis 1 e 3, os quais exibem caráter abrupto, presumindo processo de lessivagem (argiluviação) com acúmulo de areia no horizonte A (CORNU et al., 2014).

O conteúdo de partículas na fração silte por vezes sobrepõem aos valores de argila, a exemplo do Perfil 1, consequência da decomposição parcial de folhelhos (rocha sedimentar de granulometria fina) presente em substratos de granulometria variada da Formação Maceió.

A maior densidade do solo está relacionada com forças compressivas aplicadas durante cultivo e colheita de cana-de-açúcar na área estudada (CHERUBIN et al., 2016).

Adicionalmente, densidade do solo foi maior no Perfil 4 em relação aos outros perfis, visto que ele é um sol coeso que possui em profundidade (a partir do horizonte BA) consistência dura a extremamente dura quando seco e friável quando úmido,

aliado ao exame em campo de resistência à penetração da faca bem como fraco desenvolvimento estrutural (ARAÚJO et al., 2017; PRANDEL et al. 2017).

Tabela 2. Propriedades físicas dos perfis de solos

Horizonte	Areia (2000-53 μ m)	Silte (53-2 μ m)	Argila (<2 μ m)	ADA	F	Ds	Dp
cm	g kg ⁻¹				%	g cm ⁻³	
Perfil 01 – Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredóxico							
Ap (0-19)	621	203	176	50	71	1,32	2,69
BA (19-45)	237	116	646	0	100	1,36	2,74
Bt (45-97)	183	119	698	0	100	1,44	2,91
C (97-122)	170	255	575	0	100	1,57	2,67
C/Cr (122-151)	210	265	525	0	100	1,41	2,69
Cr (151-195+)	87	499	413	0	100	1,40	2,71
Perfil 02 - Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico							
Ap (0-14)	363	223	414	259	38	1,60	2,66
Bt (14-38)	200	260	539	54	90	1,39	2,79
B/C (38-63)	332	198	469	0	100	1,47	2,65
C1 (63-143)	317	231	452	0	100	1,41	2,73
C2 (143-200)	367	267	366	0	100	1,52	2,64
Perfil 03 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredóxico							
Ap (0-18)	753	146	101	101	0	1,64	2,84
Bt1 (18-34)	245	197	558	56	90	1,45	2,86
Bt2 (34-75)	213	245	542	54	90	1,52	2,80
C (75-117)	310	266	424	53	88	1,52	2,58
C/Cr (117-200)	531	200	269	54	80	1,41	2,72
Perfil 04 - Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto petroplítico							
Ap (0-16)	874	77	50	50	0	1,74	2,70
AB (16-47)	814	86	100	150	0	-	2,72
BA (47-68)	652	97	251	251	0	1,75	2,73
Bt (68-132)	610	90	299	25	92	1,8	2,73
Bc (132-164)	574	77	350	0	100	-	-
B/C (164-200)	582	68	351	0	100	1,79	2,77

ADA: argila dispersa em água; F: floculação; ds: densidade do solo; dp: densidade de partícula; - Não determinado.

A densidade de partículas confirma a pequena contribuição do elemento Fe no material de origem, demonstrando a predominância de minerais félsicos tais como feldspatos e quartzo, conforme demonstrado nas análises mineralógicas da fração areia.

A argila dispersa em água está relacionada com as condições necessárias em horizontes superiores para ocorrer o processo de lessivagem, isto é, condições

ligeiramente ácidas a moderadamente alcalinas conjugado com baixa concentração eletrolítica (HUANG et al., 2016; PAL et al., 2014; ZHANG et al., 2015). Os valores de floculação estão relacionados à composição do complexo de troca, comprimindo a camada de Stern (SINGH; UEHARA, 1998).

A densidade do solo variou de 1,32 a 1,80 g cm⁻³ com os menores valores ocorrentes em horizontes superficiais, devido exibirem em horizontes superficiais os maiores valores de carbono orgânico, que influenciam para redução dos valores de densidade do solo (DELARME LINDA et al., 2017).

Exceto o perfil 4, os demais solos são ácidos, distróficos e com alta saturação por Al (Tabela 3). Horizontes superficiais exibiram os maiores valores de pH (5,1 a 6,0) ocorrendo incremento da acidez em subsuperfície, devido a maior influência da hidrólise de Al com liberação de íons H⁺ (LINDSAY, 1979; MC BRIDE, 1994).

O conteúdo de Carbono Orgânico Total (COT) foi sempre superior nos horizontes superficiais de todos os perfis de solos. Variou de 5,3 a 8,6 g kg⁻¹ enquanto os menores valores foram observados nos horizontes em subsuperfície, variando de 4,3 a 5,2 g kg⁻¹.

No entanto, surpreendentemente os maiores estoques de carbono (Perfis 1, 2 e 3) foram exibidos nos horizontes subsuperficiais (Tabela 3) alinhados com os maiores conteúdos de Al trocável, demonstrando a capacidade desse elemento em associar-se com compostos orgânicos (LINDSAY, 1979).

Al foi o cátion trocável dominante em todos os solos. Os Perfis 1 e 3 exibiram excepcionais conteúdo de Al trocável em horizontes subsuperficiais, variaram de 27,74 a 36,27 cmol_c kg⁻¹, ocupou ~ 90% da CTC efetiva. Estes resultados são valores excepcionais até para solos situados em regiões tropicais e subtropicais (CUNHA et al. 2015; MARQUES et al., 2002).

Nos Perfis 1 e 2, a CTC efetiva foi >20 cmol_c kg⁻¹ com incremento em subsuperfície, alcançando o dobro deste valor em subsuperfície no Perfil 3 (42 cmol_c kg⁻¹), valores acentuadamente elevados em relação aos valores típicos para solos situados em condições tropicais e subtropicais (MARQUES et al., 2002). Por outro lado, menores valores (< 3 cmol_c kg⁻¹) foram observados no Perfil 4, esses dados parecem relacionados com a composição mineral ocorrente neste ambiente (MARQUES et al., 2002).

Tabela 3. Propriedades químicas dos perfis de solos

Horizonte (cm)	COT g kg ⁻¹	Estoque COT Mg ha ⁻¹	pH KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	CTC	At. de argila	V	m	P
				cmol _c kg ⁻¹								%		mg kg ⁻¹
Perfil 01 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredóxico														
Ap (0-19)	8,6	21,8	3,9	1,23	0,73	0,12	0,06	0,99	5,25	6,29	36	29	32	4,42
BA (19-45)	8,6	30,3	3,8	1,43	1,33	0,02	0,08	4,81	7,88	14,51	22	27	63	0,98
Bt (45-97)	6,2	46,3	3,8	0,9	1,86	0,02	0,08	4,81	8,34	17,29	25	26	63	0,69
C (97-122)	5,0	19,6	3,7	0,29	4,53	0,07	0,12	9,51	12,44	34,94	61	29	66	0,51
C/Cr (122-151)	4,8	19,8	3,6	0,25	4,92	0,08	0,19	32,25	15,40	25,27	48	26	86	0,66
Cr (151-195 +)	4,8	29,5	3,6	0,35	5,93	0,10	0,24	31,69	16,89	22,22	54	28	83	0,85
Perfil 02 – Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico														
Ap (0-14)	7,6	17,2	4,6	3,35	4,14	0,65	0,14	0,15	4,22	17,41	42	66	2	2,85
Bt (14-38)	6,3	20,8	4,0	1,40	2,19	1,05	0,10	2,22	6,33	18,97	35	43	32	2,78
B/C (38-63)	5,9	21,6	3,8	0,88	0,72	0,52	0,06	5,40	8,33	18,80	40	21	71	1,09
C1 (63-143)	5,9	67,0	3,8	0,41	0,41	0,14	0,05	20,14	9,70	18,93	42	9	95	0,85
C2 (143-200)	5,4	47,0	3,7	0,22	1,09	0,01	0,04	18,94	10,75	16,93	46	11	93	0,44
Perfil 03 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredóxico														
Ap (0-18)	6,2	18,4	4,0	1,27	1,19	0,17	0,06	1,02	5,11	5,52	55	34	28	11,81
Bt1 (18-34)	6,7	15,5	3,7	1,57	4,09	0,07	0,10	8,07	11,19	18,90	34	30	63	1,95
Bt2 (34-75)	5,4	33,9	3,7	0,98	4,12	0,07	0,09	9,33	12,01	22,71	42	30	64	1,02
C (75-117)	5,0	32,2	3,6	0,26	2,06	0,10	0,19	27,74	20,06	35,70	84	11	92	1,00
C/Cr (117-200)	4,9	57,8	3,5	0,18	3,65	0,12	0,22	36,27	25,60	39,25	146	14	90	0,86
Perfil 04 - Argissolo Amarelo Distrocóeso abrupto petroplíntico														
Ap (0-16)	5,3	14,8	4,4	0,93	1,05	0,09	0,03	0,45	2,20	3,00	60	49	17	9,04
AB (16-47)	4,6	-	4,4	0,67	0,98	0,03	0,03	0,46	1,30	2,12	21	57	21	5,65
BA (47-68)	5,0	18,2	4,1	0,55	1,30	0,02	0,04	0,78	2,86	4,21	17	40	29	1,75
Bt (68-132)	4,5	52,1	4,1	0,45	0,86	-	0,05	0,92	2,36	4,14	14	37	40	1,46
Bc (132-164)	4,8	-	4,1	0,43	0,78	-	0,05	0,99	2,12	4,02	11	37	44	1,47
B/C (164-210)	4,3	35,2	4,1	0,35	0,73	-	0,03	1,01	1,71	3,31	9	40	48	1,40

- Não determinado.

A semi-quantificação de elementos totais via fluorescência de raios-X (FRX) confirma as maiores proporções de Al em horizontes mais profundos associado ao material de origem (sedimentos argilo-siltosos entremeados com folhelhos). Em concordância aos maiores valores de Al, saturação por Al nos Perfis 1, 2 e 3 foi superior a 80 % nos horizontes em subsuperfície, associado aos baixos valores de saturação por bases.

Os Perfis 1, 2 e 3 também exibiram abundância no conteúdo de Mg, que foram superiores aos valores de Ca, variaram de 0,86 a 5,93 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em horizontes subsuperficiais, presume-se que as maiores proporções de Mg estão relacionadas à herança do material de origem (ANJOS et al., 2007). A partir de uma perspectiva agrícola, as maiores proporções de Mg em relação ao Ca implicam um inerente desbalanço nutricional aos cultivos (EO; PARK, 2016).

Os solos 1, 2 e 3 exibiram uma significativa variação na atividade da fração argila, de modo que demonstraram os maiores valores em subsuperfície, variou de 48 a 146, enquanto o Perfil 4 houve redução em horizontes mais profundos. Estes dados refletem abundância de minerais com estruturas 2:1 (BERNINI et al., 2013).

Os altos valores de P disponível exibidos em superfície de todos os perfis podem ser atribuídos ao atual uso agrícola já que a área é cultivada com cana-de-açúcar. Por outro lado, em subsuperfície, todos os solos exibiram baixo conteúdo do nutriente em função do material de origem.

6.3.2. Extrações Seletivas de Fe e Al

Em relação às extrações seletivas, o conteúdo de Fe extraído por oxalato de amônio foi significativamente inferior que os valores extraídos por DCB, com variação de 0,44-2,77 e 27,06-55,87 g kg^{-1} , respectivamente, em subsuperfície (Tabela 4). Os menores valores extraídos por oxalato de amônio foram observados no Perfil 4, enquanto os maiores foram detectados no Perfil 2, em superfície. Esses maiores conteúdos são atribuídos ao maior aporte de compostos orgânicos (JIMÉNEZ; VILLAR, 2017).

Tabela 4. Conteúdo de óxidos de Fe extraído por Oxalato de Amônio (Fe_{oxa}), Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio (DCB) e índice de intemperismo

Horizonte cm	Fe oxa g kg ⁻¹	Fe DCB ^a	Fe _{oxa} /Fe _{DCB}
Perfil 01 – Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredoxico			
Ap (0-19)	5,24	29,91	0,18
Bt (45-97)	5,94	79,30	0,07
C/Cr (122-151)	2,15	29,82	0,07
Perfil 02 - Argissolo Vermelho Alítico endorredoxico			
Ap (0-14)	9,12	50,95	0,18
B/C (38-63)	2,55	36,97	0,07
C2 (143-200)	1,80	55,87	0,03
Perfil 03 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredoxico			
Ap (0-18)	4,63	16,33	0,28
Bt1 (18-34)	8,64	48,74	0,18
Bt2 (34-75)	6,05	55,93	0,11
C/Cr (117-200)	2,77	27,14	0,10
Perfil 04 - Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto petroplintico			
Ap (0-16)	0,68	4,05	0,17
Bt (68-132)	1,62	24,66	0,07
B/C (164-210)	0,44	27,06	0,02

^a – somente três extrações de Fe_{DCB}

O conteúdo de Fe extraído por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fe_{DCB}) variou de 27,06- 55,87 g kg⁻¹ em subsuperfície de modo que os menores valores são exibidos no Perfil 4. Estes resultados são explicados pelo baixo nível deste elemento no material de origem (ARAÚJO et al., 2017). Por outro lado, as maiores proporções foram observadas no Perfil 3, em subsuperfície, e foi relacionada ao conteúdo de argila ($r= 0,80$, $p < 0,01$) (Tabela 5), demonstrando a predominância de fases mais bem cristalizadas nesta fração.

A baixa relação Fe_{oxa}/Fe_{DCB} (<0,10) em subsuperfície de todos os perfis, os quais exibiram um padrão de decréscimo com a profundidade indica um moderado grau de desenvolvimento dos solos associado ao maior grau de óxidos de Fe de maior cristalinidade (JIMÉNEZ; VILLAR, 2017).

Estes resultados estão consistentes com a distribuição de carbono. É reconhecido o papel da matéria orgânica na inibição da cristalização de óxidos de Fe, um fenômeno comum em solos (CORNELL; SCHWERTMANN, 2006).

Em solos ácidos, na fase sólida, Al pode ser encontrado em diversas formas, o que o torna um elemento bastante versátil. Desse modo, procedimentos de dissolução

seletiva a exemplo de extrações com oxalato de amônio (Al_{oxa}); Cloreto de Cobre (Al_{CuCl_2}); pirofosfato de sódio em pH 10,0 (Al_{piro}) ou ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Al_{DCB}) têm sido empregados para tentar categorizar as frações de Al (GARCÍA-RODEJA et al., 2004).

Oxalato ácido de amônio é comumente usado para dissolver hidr(óxidos) de Al pobremente cristalizados bem como Al ligado a substâncias orgânicas e ainda Al em material de origem vulcânico (alofana) e imogolita (EIMIL-FRAGA et al., 2015; WALNA, et al., 2005).

Tabela 5. Matriz de correlação entre conteúdos de Al e propriedades de solos aluminosos

	$Al_{\text{troc.}}$	Est. C	COS	Al_{oxa}	Al_{DCB}	Al_{total}	Fe_{oxa}	Fe_{DCB}	Argila	CTCe	CTC
$Al_{\text{troc.}}$	1.00										
Est. C	0,74	1.00									
COS	-0,48n.s.	-0,53n.s.	1.00								
Al_{oxa}	0,88**	0,66n.s.	-0,33n.s.	1.00							
Al_{DCB}	0,25n.s.	0,44n.s.	-0,10n.s.	0,61	1.00						
Al_{total}	0,58n.s.	0,54n.s.	-0,36n.s.	0,83**	0,86**	1.00					
Fe_{oxa}	-0,27n.s.	-0,48n.s.	0,76*	0,03n.s.	0,23n.s.	0,10n.s.	1.00				
Fe_{DCB}	0,14n.s.	0,18n.s.	0,28n.s.	0,48n.s.	0,70*	0,71*	0,52n.s.	1.00			
Argila	0,28n.s.	0,11n.s.	-0,027n.s.	0,66*	0,79**	0,87**	0,43n.s.	0,80**	1.00		
CTCe	0,98***	0,66*	-0,42n.s.	0,90***	0,29n.s.	0,61	-0,16n.s.	0,19n.s.	0,35n.s.	1.00	
CTC	0,85*	0,63	-0,19n.s.	0,90***	0,46n.s.	0,66	0,15n.s.	0,36n.s.	0,43n.s.	0,90**	1.00

$Al_{\text{troc.}}$ = alumínio trocável; Est. C = estoque de carbono; COS = carbono orgânico do solo; Al_{oxa} = alumínio extraído por oxalato de amônio; Al_{DCB} = alumínio extraído por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio; Al_{total} = alumínio extraído por fluorescência de raios-X; Fe_{DCB} = ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio; CTCe = capacidade de troca de cátions efetiva; CTC = capacidade de troca de cátions. **Em negrito:** $p < 0,10$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

O conteúdo de Al_{oxa} variou de 0,89-2,86 g kg⁻¹ em superfície, decresceu na seguinte ordem em relação aos perfis: Perfil 2 > Perfil 1 > Perfil 3 > Perfil 4 (Figura 7). Os resultados estão consistentes com a distribuição de carbono nesses perfis. Correlação altamente significativa e positiva ($r=0,88$; $n=22$; $p < 0,01$) reforça a hipótese que a íntima associação entre Al e substâncias orgânicas pode ser usada como um importante componente de acúmulo e balanço de carbono em solos.

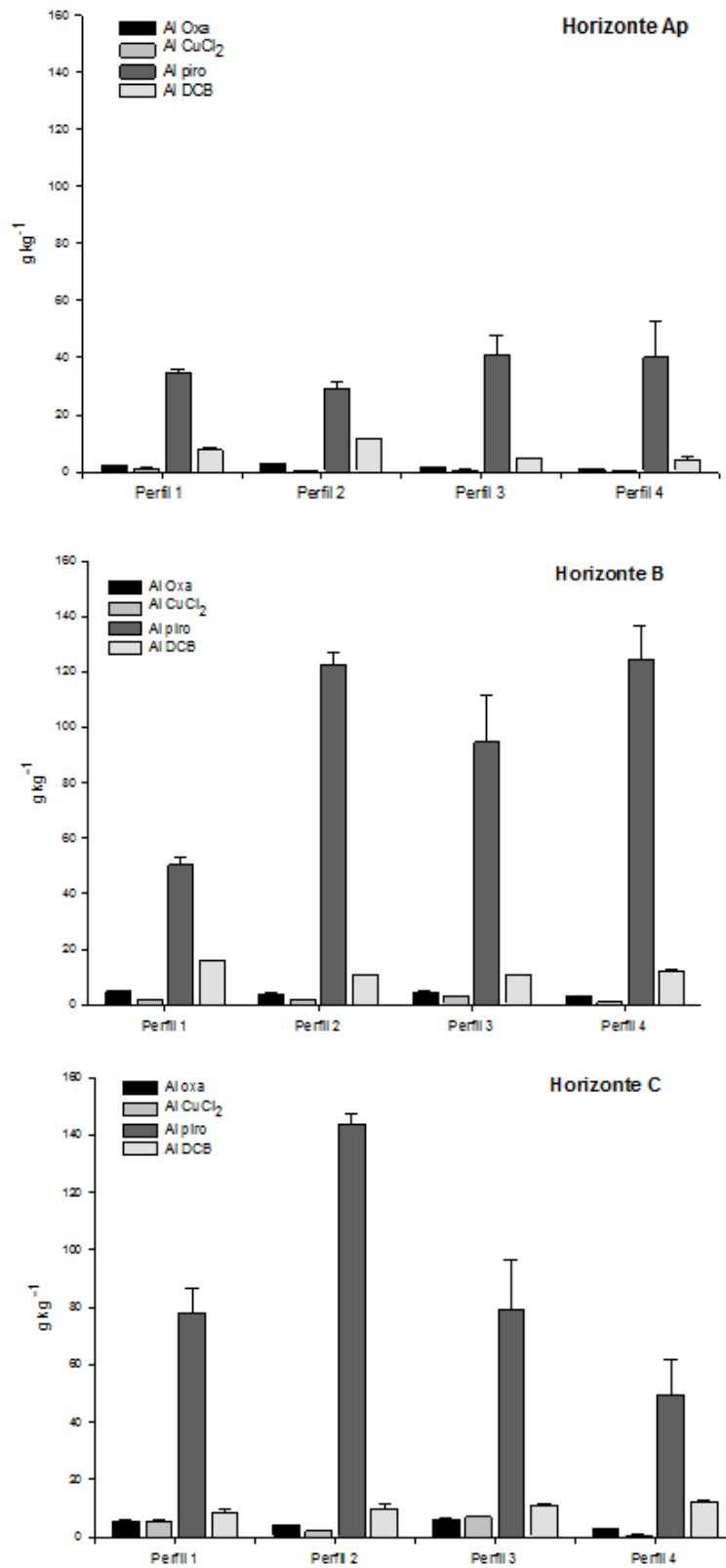


Figura 7. Valores médios (desvios padrões exibidos como erros padrões) para Al extraído por oxalato de amônio (Al_{oxa}), cloreto de cobre (Al_{CuCl_2}), pirofosfato de sódio (Al_{piro}) e DCB (Al_{DCB}) em relação aos perfis de solos.

No horizonte B não foi observado o mesmo padrão de distribuição, o conteúdo de Al_{oxa} variou de 3,29-4,87 g kg⁻¹ na seguinte ordem: Perfil 1 > Perfil 3 > Perfil 2 > Perfil 4. No saprolito ou horizonte C/Cr, o conteúdo de Al_{oxa} variou de 2,79-6,11 g kg⁻¹, foi ligeiramente maior para o solo 3 em relação ao solo 1, a ordem de abundância foi a mesma para os demais solos.

O conteúdo de Al organicamente ligado formando complexos altamente estáveis incrementou com a profundidade. Os valores de Al_{piro} variaram de 50,32-124,42 g kg⁻¹ nos horizontes B, enquanto nos horizontes C variaram entre 49,00-143,00 g kg⁻¹ e foram significativamente maior nos Perfis 4 e 2. As maiores proporções de Al_{piro} estão em consonância com os maiores estoques de carbono.

A falta de correlação (dados não mostrados) entre carbono orgânico e Al_{piro} é consistente com os dados registrados por García-Rodeja et al. (2004) e Eimil-Fraga et al. (2015) para solos em que Al_{piro} é maior que Al_{oxa} .

Extrações com sais não tamponados a exemplo do $CuCl_2$ têm sido propostas para estimativa da fração orgânica ligada a Al via reações com troca de ligantes (HARGROVE; THOMAS, 1981; JUO; KAMPRATH, 1979).

Dentre os extratores ligados às substâncias orgânicas, os valores de Al_{CuCl_2} foram os menores independente dos solos, variaram entre 0,40-1,13 g kg⁻¹ em superfície com os maiores resultados no solo 1, possivelmente explicado pelo maior aporte de compostos orgânicos (EIMIL-FRAGA et al., 2015).

Adicionalmente o conteúdo de Al_{CuCl_2} incrementou com a profundidade, variou de 0,68-6,91 g kg⁻¹ em subsuperfície com destaque para o solo 3, atribuídos aos maiores estoques de carbono.

O conteúdo de Al extraído por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Al_{DCB}) variou de 4,24- 11,62 g kg⁻¹ em superfície de modo que as concentrações estimadas decresceram na seguinte ordem em relação aos perfis: Perfil 2 > Perfil 1 > Perfil 3 > Perfil 4 (Figura 7). Observou-se um ligeiro incremento nos valores Al_{DCB} com a profundidade comparado aos horizontes superficiais, primariamente nos Perfis 1, 3 e 4, presumindo alta substituição na estrutura dos óxidos de Fe, em concordância com a composição mineralógica (CANER et al., 2014).

6.3.3. Composição Química Total e Índices de Intemperismo

Os solos na área estudada exibiram maiores proporções de SiO_2 em superfície e tenderam ao decréscimo com a profundidade (Tabela 6), enquanto o conteúdo de Al_2O_3 demonstrou relativo enriquecimento (Figura 7) em comparação aos horizontes superficiais como também registrado por Delarmelinda et al. (2017). O conteúdo de MgO seguiu o mesmo padrão do Al_2O_3 , possivelmente surgindo da influência do material de origem.

Os valores de K_2O não seguiram um padrão bem definido, de modo que os Perfis 1 e 3 incrementaram os valores com a profundidade. O solo 2 exibiu tendência oposta com a profundidade enquanto no solo 4 os valores de K_2O foram homogeneamente distribuídos. O incremento deve ser atribuído à virtual alteração de illitas (Figuras 11, 12 e 13) associado à perda de K decorrente da inerente mobilidade em superfície (Figura 7) (ROLLINSON, 1993).

Os valores de perda ao fogo incrementaram com a profundidade, alcançando valores significativos ($P. F. > 13,0$) em subsuperfície nos perfis 1, 2 e 3. Esses resultados são atribuídos à ocorrência de minerais de argila hidratados e materiais mal cristalizados que acumulam água em sua estrutura (BABECHUK et al., 2014), os dados observados estão em consonância com a composição mineralógica dos solos neste estudo (Figuras 11-14).

Dados de elementos maiores foram usados para calcular índices de intemperismo, os quais estimam relações entre elementos móveis e aqueles potencialmente imóveis. Excluindo os horizontes em superfície dos Perfis 1 e 3 (0-20 cm) todos os dados do índice CIA foram ≥ 95 , demonstrando o moderado grau de intemperismo químico dos solos quando comparados com substratos não alterados, a exemplo de rochas ígneas de variada composição (CIA $\approx 35-50$) (BABECHUK et al., 2014; ZHANG et al., 2015).

Dentre os solos da sequência, os valores $\tau_{Ti,j}$ ($j = \text{Al}$) tornam-se menos negativo ao longo dos perfis, excetuando o Perfil 1 que permanece com valores positivos e tendência de incremento nos primeiros 100 cm. Os valores médios foram 0,16 (Perfil 1), -0,01 (Perfil 2), -0,30 (Perfil 3), - 0,19 (Perfil 4), sugerindo ligeira perda e caráter parcialmente conservativo de Al ao longo dos horizontes (ZHANG et al., 2015).

O índice K_i (relação molar Si/Al) é uma ferramenta igualmente importante de avaliação do intemperismo e indicação da composição mineralógica da fração argila.

O predomínio de valores $K_i \approx 2,0$ denota apreciável ocorrência de minerais 2:1 (MARQUES et al., 2002).

Tabela 6. Valores semiquantitativos de óxidos determinados por FRX

Horizonte	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	TiO ₂	Na ₂ O	MgO	CaO	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	ZrO ₂	P.F.	CIA
cm	%												
Perfil 01 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abruptico epirredoxico													
Ap (0-19)	83,73	8,13	1,67	0,42	nd	0,24	0,26	0,43	0,01	0,11	0,08	4,92	92
BA (19-45)	46,81	29,24	8,29	1,18	0,04	0,6	0,09	0,56	0,01	0,16	0,03	12,98	98
Bt (45-97)	42,77	28,7	12,84	1,13	nd	0,65	0,05	0,61	0,01	0,20	0,03	13,00	98
C (97-122)	46,94	30,35	6,66	1,54	nd	0,92	0,05	0,76	nd	0,40	0,04	12,35	97
C/Cr (122-151)	47,22	28,84	8,29	1,43	0,02	1,23	0,08	1,03	0,02	0,25	0,04	11,56	96
Cr (151-195 +)	50,14	27,33	5,48	1,50	nd	1,32	0,03	1,23	0,01	0,23	0,03	12,7	96
Perfil 02 - Argissolo Vermelho Alítico endorredoxico													
Ap (0-14)	50,39	25,21	8,54	1,56	nd	0,46	0,19	0,64	nd	0,22	0,09	12,69	97
Bt (14-38)	41,36	29,57	11,88	1,56	nd	0,51	0,09	0,60	0,01	0,24	0,05	14,13	98
B/C (38-63)	48,58	30,11	6,89	1,09	nd	0,56	0,05	0,43	0,01	0,14	0,04	12,10	98
C1 (63-143)	47,98	29,40	6,78	1,02	0,06	0,57	0,09	0,37	nd	0,14	0,04	13,56	98
C2 (143-200)	50,70	29,05	6,27	1,25	nd	0,67	0,06	0,38	nd	0,09	0,05	11,48	99
Perfil 03 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abruptico epirredoxico													
Ap (0-18)	83,22	8,11	1,67	0,79	0,05	0,28	0,08	1,07	nd	0,14	0,12	4,47	87
Bt1 (18-34)	48,31	28,45	6,89	0,95	nd	0,83	0,12	1,03	nd	0,22	0,03	13,17	96
Bt2 (34-75)	46,45	28,96	7,70	1,00	nd	1,03	0,06	1,37	0,01	0,25	0,03	13,14	95
C (75-117)	46,63	28,70	7,66	1,29	0,04	1,34	0,03	1,54	0,01	0,14	0,02	12,61	95
C/Cr (117-200)	50,82	27,87	5,36	0,76	0,05	1,83	0,02	1,91	0,01	0,17	0,01	11,20	93
Perfil 04 - Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico petroplintico													
Ap (0-16)	88,67	6,24	0,67	0,57	0,01	0,07	0,07	0,14	0,01	0,09	0,12	3,33	97
AB (16-47)	83,93	10,1	1,11	0,78	0,04	0,07	0,05	0,18	0,02	0,09	0,15	3,49	97
BA (47-68)	70,84	18,92	1,94	1,05	nd	0,1	0,04	0,15	nd	0,09	0,12	6,74	99
Bt (68-132)	67,92	21,43	2,16	1,07	nd	0,11	0,04	0,15	0,01	0,1	0,1	6,91	99
Bc (132-164)	64,30	22,81	3,53	1,02	0,02	0,1	0,02	0,14	0,01	0,09	0,09	7,86	99
B/C (164-210)	65,25	25,62	2,61	1,17	nd	0,07	0,03	0,13	0,01	0,09	0,1	4,92	99

P.F.: perda ao fogo; CIA: índice químico de alteração; nd- não determinado.

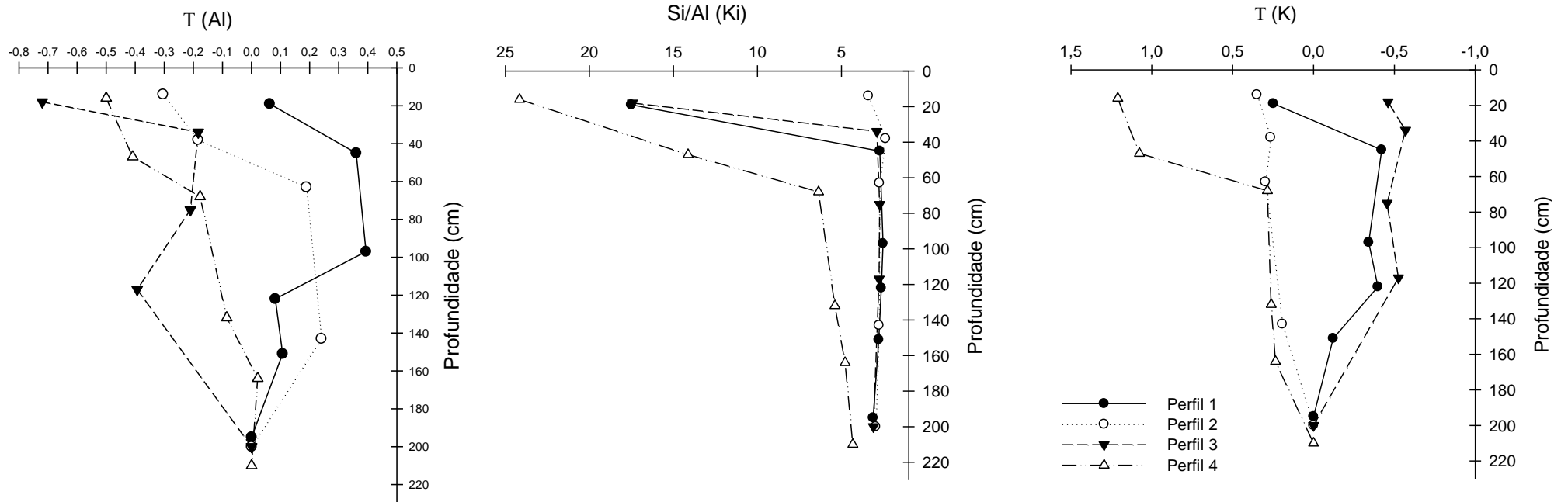


Figura 8. Balanço geoquímico dos elementos Al e K por meio dos valores de τ (tau) e Índice de intemperismo (Si/Al-Ki) dos Perfis 01 (Argissolo Vermelho-Amarelo); Perfil 02 (Argissolo Vermelho Alítico); Perfil 03 (Argissolo Vermelho-Amarelo); Perfil 04 (Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico petrplítico).

Curvas de concentrações de elementos maiores e ZrO_2 foram usados para registrar a homogeneidade do material de origem (Figura 9). Todos os perfis exibiram curvas suaves de distribuição das concentrações de ZrO_2 em superfície e tornaram-se paralelas ao eixo da profundidade, indicando tendência de acordo com Anda et al. (2009) de uniformidade do material de origem.

Adicionalmente, para fornecer mais evidências da homogeneidade do material de origem, Anda et al. (2009) utilizaram dados das concentrações de SiO_2 , Al_2O_3 , MgO_2 , Fe_2O_3 e K_2O contra a profundidade do solo.

Dentre os Perfis originados de sedimentos da Formação Maceió, os Perfis 1 e 3 exibem as maiores inflexões dos conteúdos de Al_2O_3 e SiO_2 em superfície, enquanto no Perfil 2, estes elementos foram homogeneamente distribuídos. Para o Perfil 4 originados de sedimentos do Grupo Barreiras, houve tendência de incremento de Al_2O_3 e tendência uniforme de SiO_2 com a profundidade, sugerindo ausência de mudança de materiais dentro do perfil.

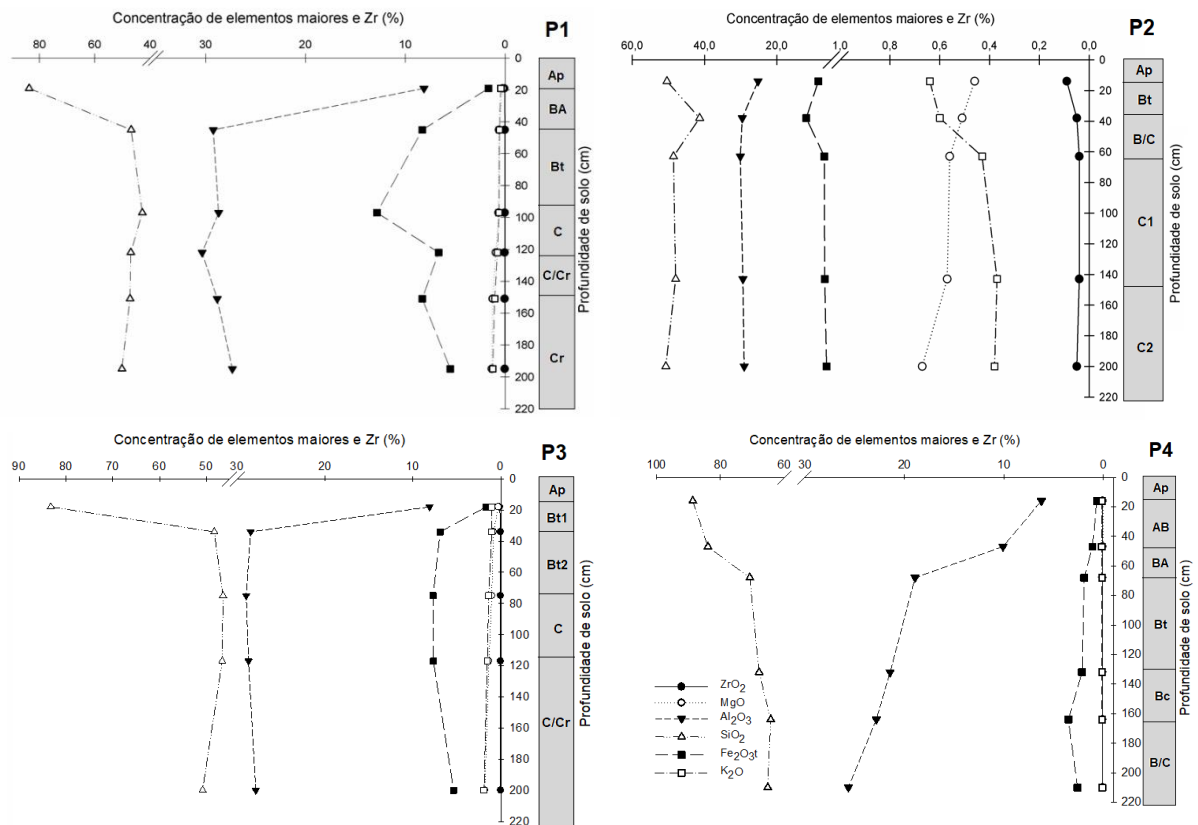


Figura 9. Curvas de concentrações de elementos maiores e Zr (%) de uma Catena composta de quatro perfis situados na Sub-Bacia Alagoas, Alagoas, Brasil.

6.3.4 Propriedades Mineralógicas

De acordo com os difratogramas de raios-X das frações areia e silte, observou-se sutis mudanças ao longo da catena na assembleia mineral de solos originados de sedimentos da Formação Maceió (Perfis 1, 2 e 3). A fração areia de todos os solos mostrou predominância de mineral minimamente alterável (presença de quartzo), evidenciado pelas reflexões em $d = 0,42$ nm e $0,33$ nm (Tabela 7).

Dos solos originados da Formação Maceió, os perfis 1 e 3 exibiram, além de quartzo, maior diversidade de minerais facilmente alteráveis (presença de mica) indicada pelas reflexões em $d = 1,02$ nm e $0,33$ nm bem como presença de feldspatos conforme as reflexões em $d = 0,69, 0,62, 0,32$ nm em subsuperfície. Essa composição está intimamente associada à herança pré-sedimentar destes solos.

Observou-se, de acordo com os difratogramas de raios-X da fração silte, similar composição mineralógica dos perfis 1, 2 e 3, constituída de micas ($1,0$ e $0,33$ nm), caulinitas ($0,72$ e $0,35$ nm) e quartzo ($0,42$ e $0,33$ nm). Por outro lado, o solo 4 exibiu apenas presença de quartzo. Essa diferença de composição mineral está relacionada à distinta constituição do material de origem do Perfil 4 (sedimentos argilosos/argilo-arenosos) do Grupo Barreiras (CORRÊA et al. 2008; GIAROLA et al. 2009).

Tabela 7. Composição mineralógica das frações areia e silte dos perfis de solos

Perfil	Fração do solo	
	Areia	Silte
1	Mi, Qtz,	Mi, Qtz, Ka
2	Qtz	Mi, Qtz, Ka
3	Qtz, Fd	Mi, Qtz, Ka
4	Qtz	Qtz

Mi – Mica; Ka- Caulinita; Qtz- Quartzo; Fd – Feldspatos. Composição mineralógica dos mesmos horizontes investigados na fração argila.

Difratogramas de raios-X da fração argila natural derivados de solos aluminosos originados de sedimentos argilo-siltosos da Formação Maceió demonstraram que caulinita ($0,71$ e $0,35$ nm) foi predominante nas amostras (Figuras 10 e 11). Reflexão em $1,4$ nm indica esmectita, pico $1,0$ nm indica a presença de mica bem como para goethita ($0,41$ nm) e hematita+goehtita ($0,26$ nm) foi identificado em todos os solos. Adicionalmente, foi observado presença de quartzo ($0,42$ e $0,33$ nm).

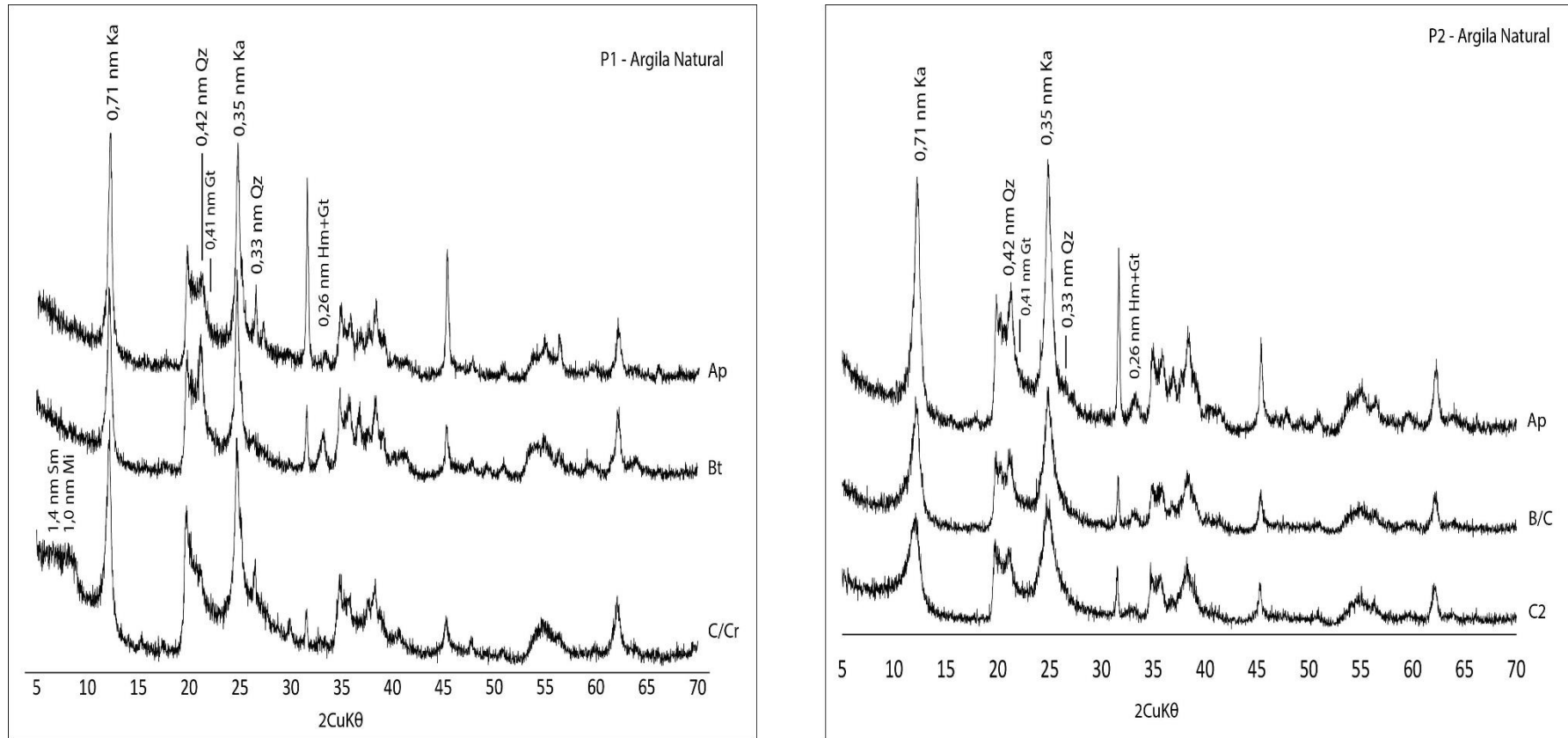


Figura 10. Difratogramas da fração argila (natural) de amostras não orientadas de solos desenvolvidos em ambiente sedimentar na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Sm: Esmeclita; Mi: mica; Ka: caulinita; Qz: quartzo; Gt: goethita; Hm: hematita; P1: Argissolo Vermelho-Amarelo; P2: Argissolo Vermelho.

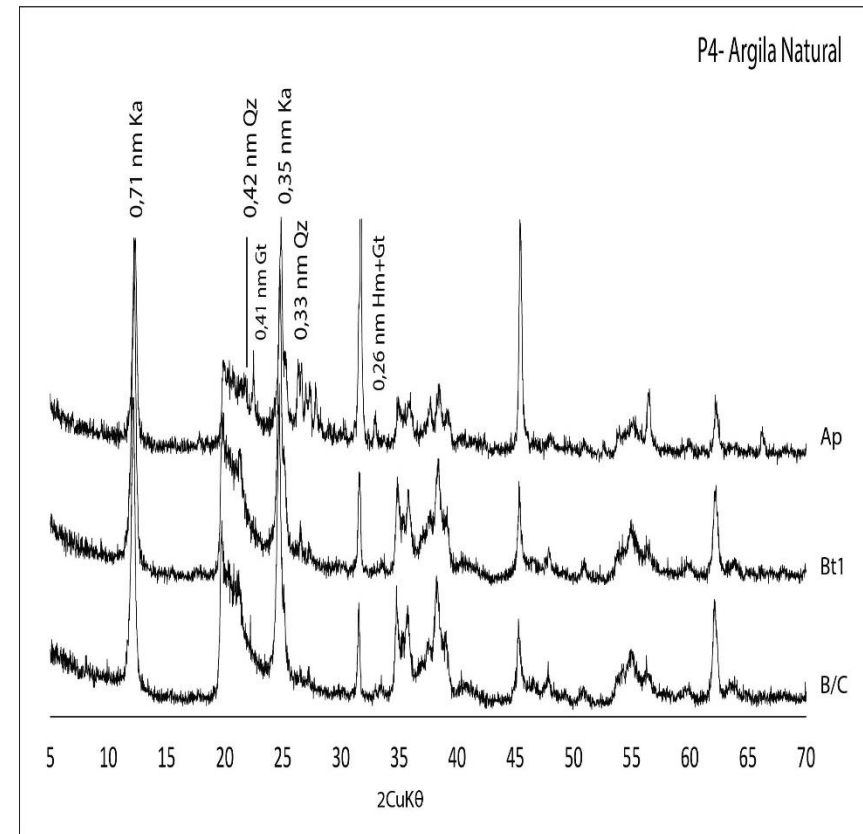
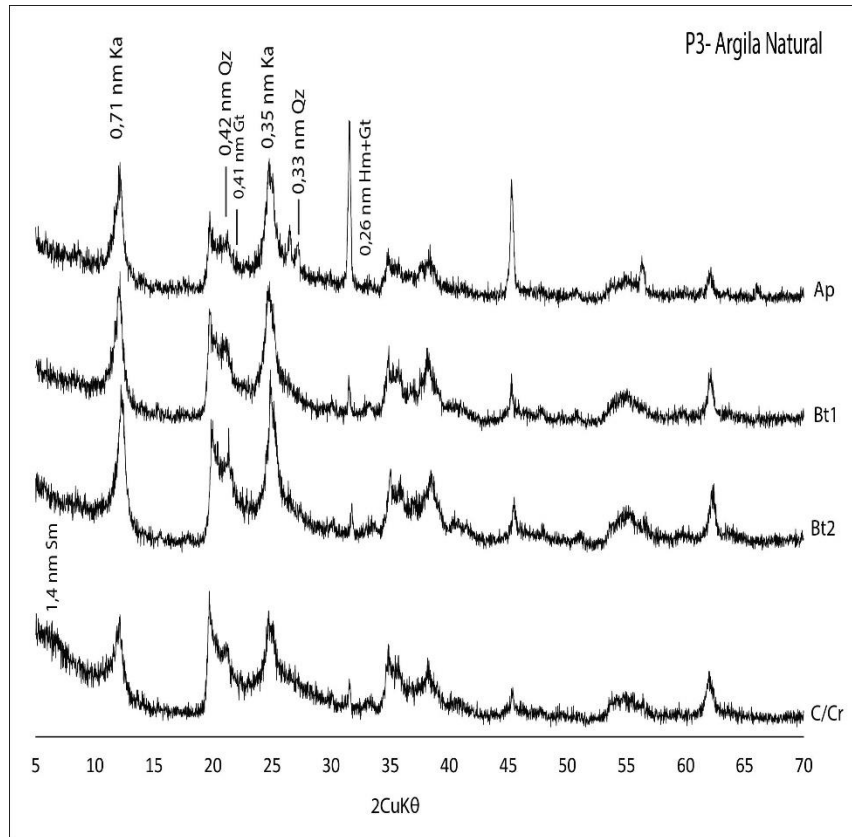


Figura 11. Difratomogramas da fração argila (natural) de amostras não orientadas de solos desenvolvidos em ambiente sedimentar na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Sm: Esmeclita; Ka: caulinita; Qz: quartzo; Gt: goethita; Hm: hematita; P3: Argissolo Vermelho-Amarelo; P4: Argissolo Amarelo.

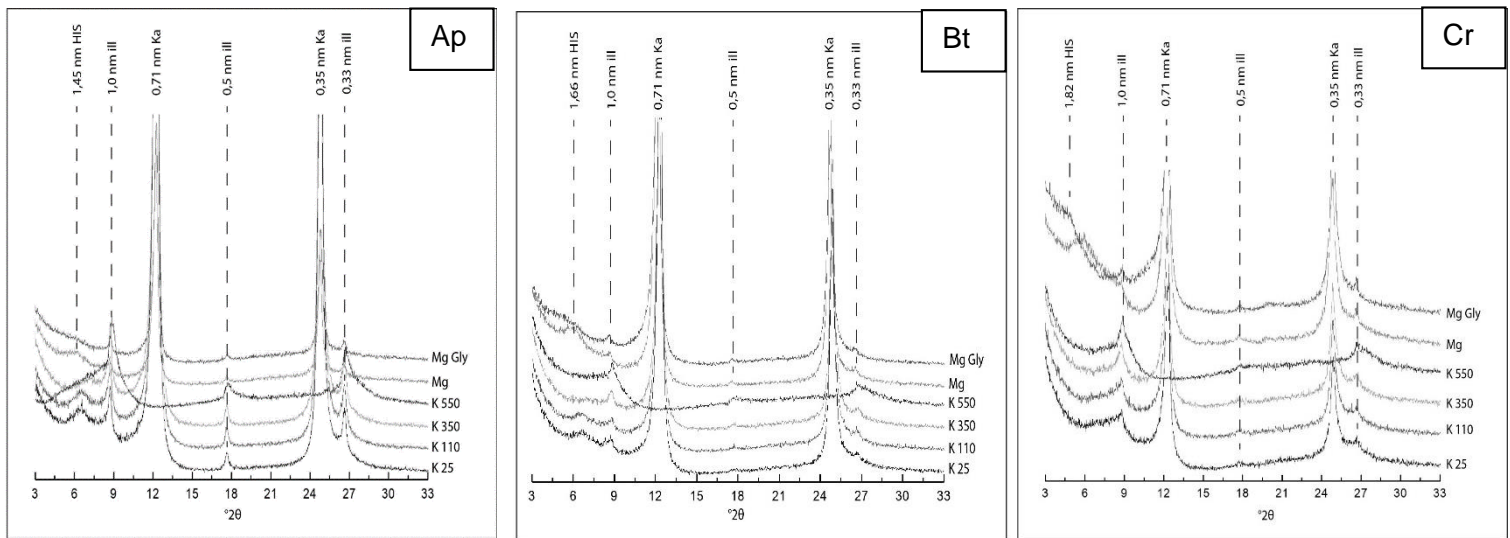


Figura 12. Difratogramas de raios-X da fração argila de horizontes do Perfil 1: Argissolo Vermelho-Amarelo desenvolvido originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. HIS: Esmeclita com hidróxi entrecamadas; ill: ilita; Ka: caulinita.

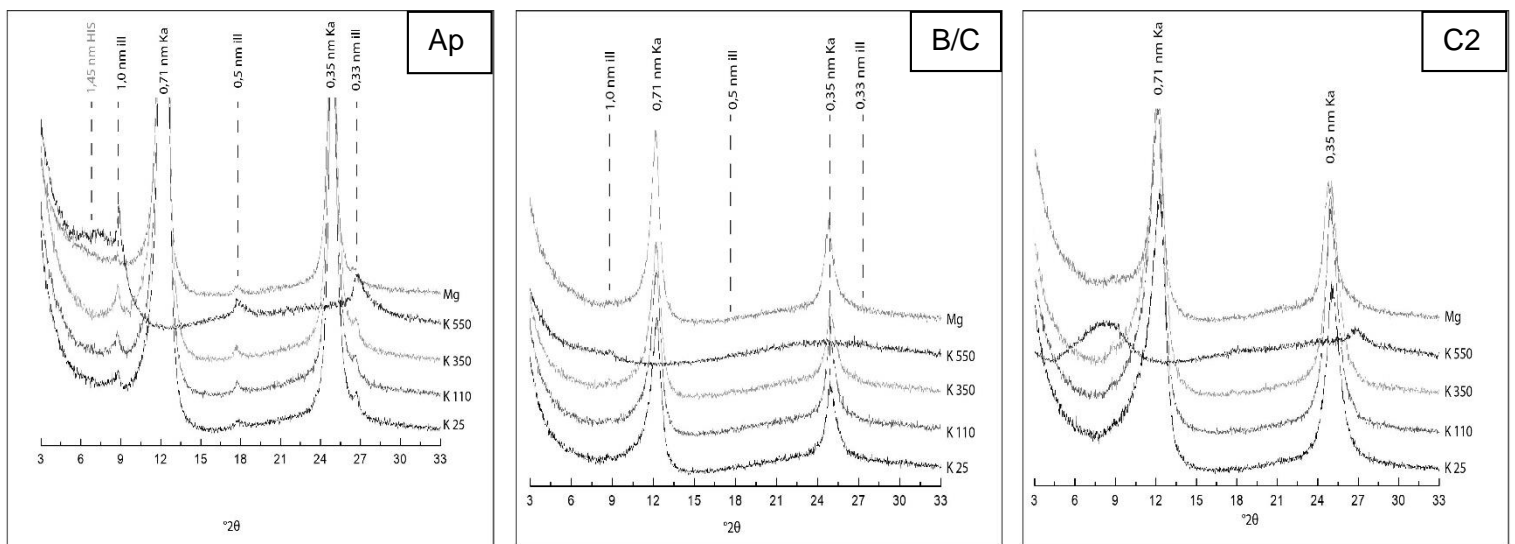


Figura 13. Difratogramas de raios-X da fração argila de horizontes do Perfil 2: Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. HIS: Esmeclita com hidróxi entrecamadas; ill: ilita; Ka: caulinita.

Minerais de argila 2:1 foram observados nos DRX de agregados orientados somente nos perfis 1, 2 e 3 originados de sedimentos da Formação Maceió, enquanto no Perfil 4 foram apenas virtualmente presentes (ilita no horizonte Ap), indicando a ocorrência de fatores que contribuíram para a permanência na zona tropical úmida da sub-Bacia Alagoas. Caulinita, Ilita e Vermiculita/Esmeclita com hidróxi-entrecamada

foram identificados, de modo que caulinita foi identificada pelas suas reflexões nos planos 001 e 002 em $d = 0,72$ nm e $0,35$ nm, respectivamente (Figura 12, 13, 14 e 15).

Após progressivo aquecimento (em 550°C) os picos $0,72$ e $0,35$ nm desapareceram. Estes resultados confirmam presença de caulinita bem como a ausência de clorita em todos os solos. Os picos em $0,42$ nm e $0,33$ nm foram característicos de quartzo.

A presença de mica ($1,0$ nm) nas frações areia e silte proporcionou condições para formação de illita na fração argila, confirmada a persistência dos picos ($1,0$ nm e $0,5$ nm) após solvatação com Etileno glicol.

A intensidade das reflexões da illita tenderam a ser maiores em subsuperfície dos perfis, possivelmente conforme postulado por Delarmelinda et al. (2017), pois o intemperismo desses filossilicatos é mais avançado em horizontes superficiais.

Reflexões de picos em $1,4$ - $1,8$ nm obtidos de horizontes superfície e subsuperfície que sofreram apenas parcial colapso a $d = 1,0$ nm após tratamento térmico (350°C), seguido de incremento da intensidade da reflexão do pico $0,5$ nm no plano 002 com aumento do aquecimento, sugerem provavelmente a presença de esmectita com hidróxi-entrecamada (HIS) no Perfil 1.

O horizonte superficial do perfil 2 tem a mesma composição mineral que no Perfil 1, ou seja, caulinita, illita e minerais hidróxi Al-entrecamadas HIS (Figura 13) enquanto em profundidade observou-se a presença de caulinita indicada pelas reflexões em $d = 0,71$ e $0,35$ nm nos planos 001 e 002, respectivamente.

Adicionalmente, pico pouco intenso com reflexões em $1,0$ nm e $0,5$ nm, irregularmente afetado pelo tratamento térmico (550°C) em subsuperfície (horizonte C2), caracterizou a presença de illita.

O Perfil 3 exibiu a presença de illita e caulinita homogeneamente distribuídas em todo o perfil. Além disso, observou-se no saprolito reflexão $d = 1,9$ nm e $1,2$ nm (Figura 14), que representaram diferentes minerais, os quais são provavelmente esmectita com alguma interestratificação de Al na estrutura das esmectitas.

Para a diferenciação de esmectitas, o efeito Hofmann-Klemen (GREENE-KELLY, 1953; LIM; JACKSON, 1986) é frequentemente utilizado. Nesse método a amostra é saturada com o íon lítio e então solvatada com etileno glicol/glicerol. O íon lítio tende a neutralizar as cargas da montmorilonita não havendo expansão e reflexões. O oposto ocorre com a beidelita e nontronita que exibem reflexões $d = 1,7$ -

1,8 nm (BORCHARDT, 1989). No presente estudo, após saturação com lítio e solvatação com glicerol, observou-se reflexões de 1,8 nm caracterizando a presença de beidelita/beidelita, esta última é sustentada pelos significativos valores de Fe_2O_3 (Figura 12).

O perfil 4 exibiu assembleia de minerais bem distinta dos demais solos, predominantemente caulinita (0,71; 0,35 nm) e virtual presença de illita (1,0; 0,5 nm) nos planos 001 e 002, respectivamente, no horizonte Ap (Figura 15).

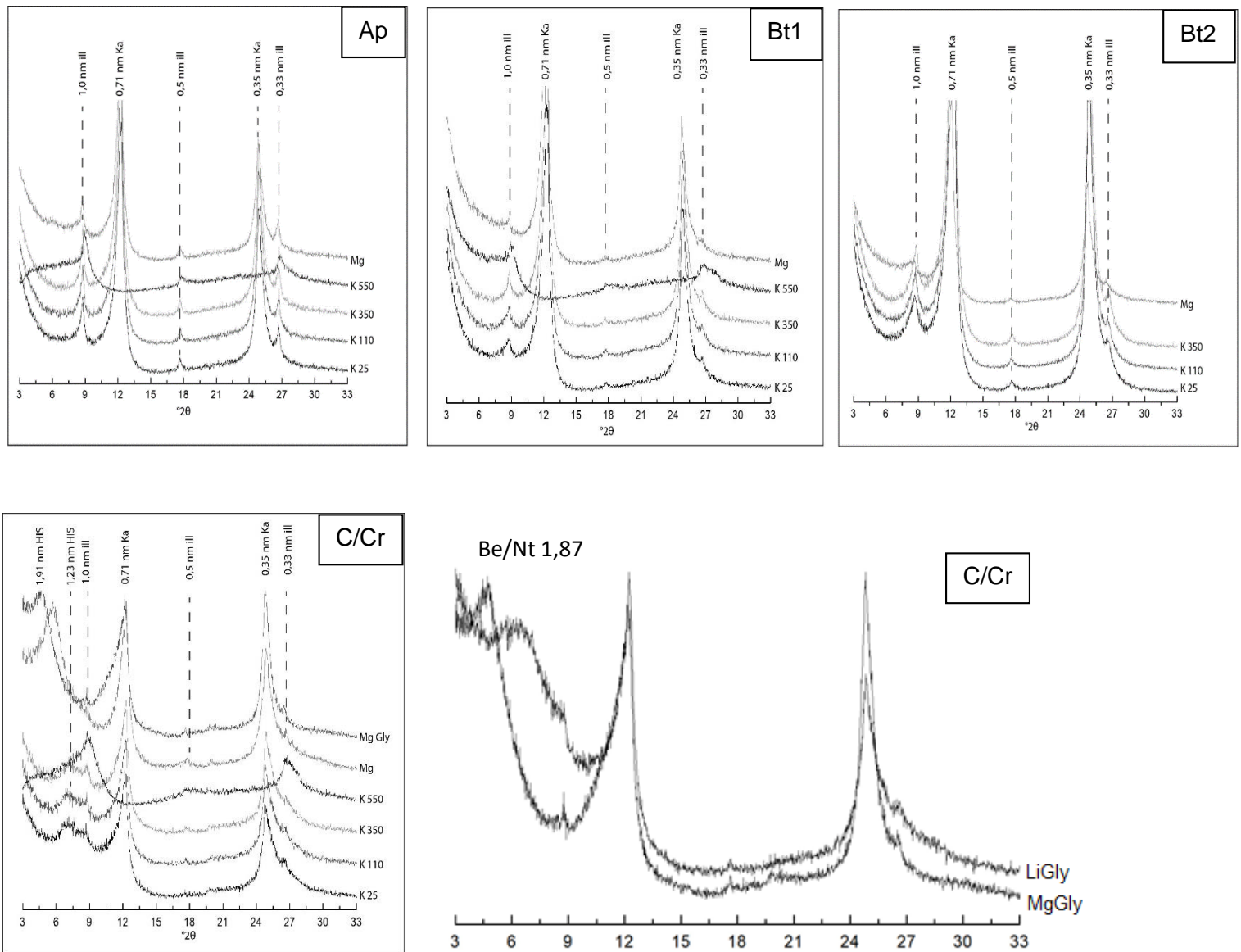


Figura 14. Difratogramas de raios-X da fração argila de horizontes do Perfil 3: Argissolo Vermelho-Amarelo e teste de Greene-Kelly no horizonte C/Cr, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Be: beidelita; Nt: Nontronita; HIS: Esmeclita com hidróxi entrecamadas; ill: illita; Ka: caulinita

Prévios autores indicaram que os maiores conteúdos e redistribuição de Al extraídos por KCl 1 mol L⁻¹ na presença de minerais tipo 2:1 com hidróxi Al-entrecamada na Amazônia (ALMEIDA, 2010; BERNINI et al., 2013) e Sul do Brasil (CUNHA et al., 2014; CUNHA et al., 2015; PEDRON et al., 2015) são um dos possíveis mecanismos para formação dos solos aluminosos.

Entretanto, nos solos descritos no presente estudo, o conteúdo de Al trocável foi mais que 3 vezes superior (Tabela 3) aos solos aluminosos nas áreas tropicais e subtropicais do Brasil (BERNINI et al., 2013; CUNHA et al., 2014; MARQUES et al., 2002), o que sugere uma grande contribuição da natureza química do material de origem.

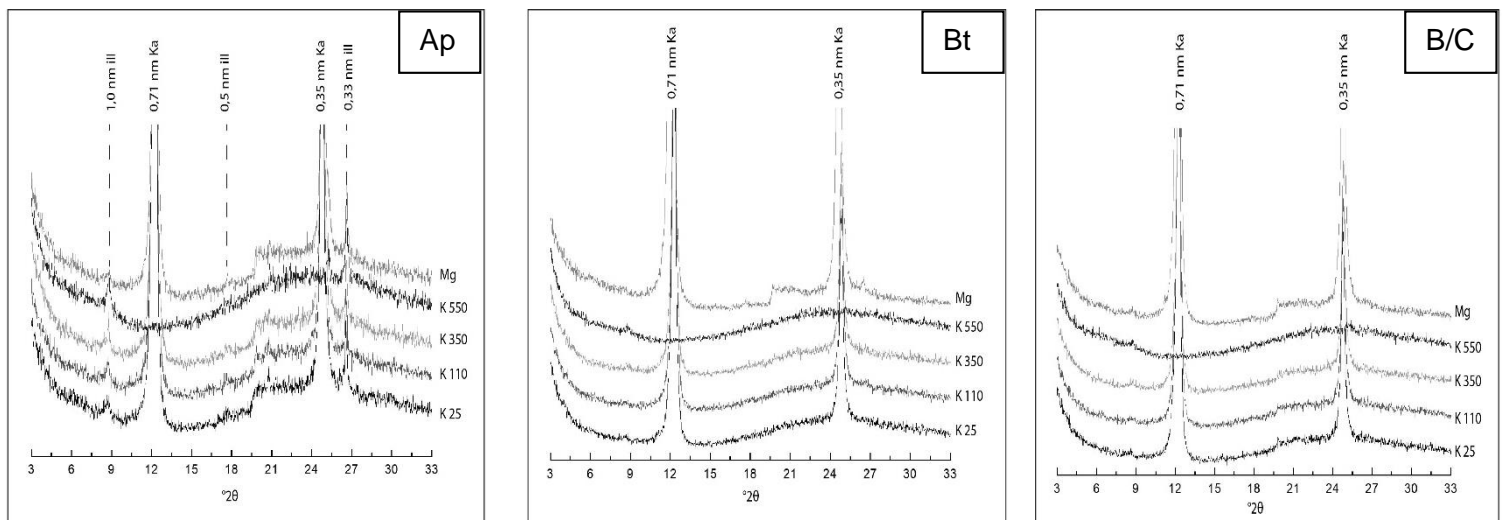


Figura 15. Difratogramas de raios-X da fração argila de horizontes do Perfil 4: Argissolo Amarelo originado de sedimentos areno-argilosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. ill: illita; Ka: caulinita.

5.2. Discussão

As variações observadas nos solos foram associadas predominantemente com as características do material de origem sedimentar existente no ambiente, sugerindo que o solo reteve suas características, fortalecendo desse modo o relacionamento substrato-solo.

As condições ambientais na zona costeira úmida do Nordeste brasileiro são usualmente caracterizadas por elevadas precipitações e temperaturas (ARAÚJO

FILHO et al., 2012; ARAÚJO et al., 2017; SILVA et al., 2016), que propiciam processos de intemperismo, no entanto, condições como influência do lençol freático e do material de origem (ANDA, 2012; DELARME LINDA et al., 2017; DREWNIAK et al., 2014; EIMIL-FRAGA et al., 2015) podem ditar a evolução pedogenética dos solos originados de sedimentos do Cretáceo.

Algumas propriedades morfológicas, físicas e químicas variaram com a composição mineralógica, drenagem do solo e fatores locais tais como tipo de vegetação.

A ocorrência de cores amarelas (7,5 a 10 YR) misturada em menores proporções com cores vermelhas ao longo dos perfis pode ser explicada pelas menores proporções de minerais máficos e opacos no material de origem pré-alterado (ARAÚJO et al., 2017). A cor amarela advém também da provável formação de goethita, este óxido é tipicamente ligado a compostos orgânicos em ambientes úmidos fornecendo cores brunadas aos solos (SILVA et al., 2016).

Por outro lado, a ocorrência coloração vermelha ao longo do Perfil 3 está em consonância com os conteúdos de Fe total determinado por FRX em subsuperfície. Além disso, períodos de menor precipitação, altas temperaturas registradas nestas áreas e um menor suprimento de matéria orgânica por conta da histórica prática de queima da cana-de-açúcar pre-colheita, contribuem para cores vermelhas (FRANÇA et al., 2014; RESENDE et al., 2006; ROSSI et al., 2016).

Os Perfis 1 e 3 exibiram coloração variegada, onde esse componente morfológico sugere períodos de maior umidade decorrentes de deficientes drenagem. Essa situação associado com as maiores proporções de Al contribuíram para favorecer a atuação do processo de ferrólise em subsuperfície, conforme proposto por Brinkman (1970) e registrado por Anjos et al. (2007) e Coelho e Vidal-Torrado (2003), em solos brasileiros.

Ocorrência de blocos subangulares bem desenvolvidos nos Perfis 1, 2 e 3 parece relacionado com o moderado de desenvolvimento pedológico na zona úmida costeira (ARAÚJO FILHO et al., 2012). A co-existência de estrutura sub-angular e granular no horizonte superficial do Perfil 3 resulta da atuação de raizamento e ação biológica frequentemente registrada próxima à rizosfera (ARAÚJO et al., 2017), onde nesta zona, as mais significativas propriedades dos solos são induzidas por práticas de uso e manejo (CHERUBIN et al., 2016).

De maneira geral, os solos aluminosos investigados dentro da faixa norte e sul do Brasil variam de argilo-siltoso a muito argiloso na superfície e subsuperfície (MARQUES et al., 2002; CUNHA et al., 2014), como resultado de migração de argila associado com grau de desenvolvimento dos agregados moderado ou forte, propiciando a existência de horizonte Bt (Embrapa, 2013).

A ocorrência de gradiente textural e a presença de cerosidade (aspecto graxo envolvendo agregados) (SANTOS et al., 2013), incremento da relação argila fina/argila grossa (CORRÊA et al., 2008) presume a atuação do processo de lessivagem ou argiluviação nos Perfis 1, 2, 3 e 4. A alta precipitação na zona costeira do Atlântico Sul favoreceu a ação desse processo, bem como em outras áreas úmidas no território brasileiro (COSTA, 2012; DELARME LINDA et al., 2017; MARQUES et al., 2002).

Incremento do conteúdo da fração silte com a profundidade, por vezes sobrepondo-se ao conteúdo de argila, parece relacionado com a menor atuação do intemperismo à medida que se distancia da superfície, atestando o moderado grau de desenvolvimento pedogenético, apesar dos perfis demonstrarem reação ácida (BERNINI et al., 2013; SOUZA et al., 2010).

A abundância de silte pode ser interpretada como resultado da alteração parcial de folhelhos (MARQUES et al., 2013). Outro fator igualmente importante para as maiores proporções de silte foi o fato que no Perfil 1, onde está sobre relevo suavemente ondulado a ondulado pode ter favorecido transporte de silte fino.

O Perfil 4 exibiu características coesivas, similares às características dos solos hardsetting documentados em solos na região Nordeste do Brasil e também em terrenos australianos e sul-africanos. Estes compartilham alto grau de endurecimento quando secos e se tornam friáveis quando úmidos, alguns fatores inter-relacionados a exemplo de dominância de mineralogia caulinítica, arranjo face-face, intupimento de poros por argila iluvial, incremento da relação argila fina/argila grossa provavelmente podem explicar sua formação (ARAÚJO et al., 2017; CORRÊA et al., 2008; GIAROLA et al., 2009; PRANDEL et al., 2017).

As maiores densidades do solo representam diminuição da qualidade física do solo, com impactos adversos sobre o crescimento de raízes e implicações negativas sobre funções de ecossistemas (BRAUNACK; MC GARRY, 2006; CHERUBIN et al., 2016; SOUZA et al., 2015).

Algumas propriedades químicas são relativamente similares entre os solos da catena, a exemplo de baixos conteúdos de cátions no complexo de troca, no entanto, a dinâmica de alguns elementos tais como o Mg e Al variou entre os solos.

Os maiores conteúdos de Mg foram observados nos Perfis 1, 2 e 3 os quais incrementaram em subsuperfície, superior aos valores de Ca, indicando que os sedimentos fontes ocorrentes na Formação Maceió foram naturalmente ricos nesse elemento, conforme demonstrado nas análises de composição químicas totais por FRX (Tabela 6).

Abundância de Mg trocável confirma que o relacionamento substrato-solo por vezes é tão forte que nem a pedogênese consegue uniformizar os produtos do intemperismo (MA et al., 2015). Visto que os substratos contêm distintas composições elementares, é esperado que os solos formados tenham distintas propriedades, especialmente o conteúdo de elementos essenciais aos sistemas agrícolas (ANDA, 2012).

Comparativamente, solos com propriedades similares de abundância em Mg trocável foram registrados por Anjos et al. (2007), Bernini et al. (2013); Cunha et al. (2015) e Lima et al. (2006), em trabalhos realizados em bacias sedimentares que experimentaram eventos tectônicos e eventuais incursões marinhas.

A dinâmica de Al variou de modo significativo entre os solos, de modo que os maiores conteúdos de Al trocável foram detectados nos Perfis 1, 2 e 3, com incremento significativo em subsuperfície, relacionado ao material de origem, enquanto os menores valores foram apenas detectados em horizontes superficiais (< 20 cm), resultado do efeito complexante de substâncias orgânicas sobre esse elemento (DELARME LINDA et al., 2017; SPARKS, 2003; SPOSITO, 1995).

Significativos conteúdos de Al trocável nestes solos podem ser decorrentes da liberação parcial de Al dos minerais Esmectitas/Vermiculitas ou Esmectitas/Vermiculitas com hidróxi-entrecamadas (HIS ou HIV) (Figuras 12, 13 e 14) atuando como fontes de Al (LANSON et al., 2015; PAL et al., 2014) extraídas pela solução de KCl 1 mol L⁻¹ (ALMEIDA et al. 2010; CUNHA et al., 2015; MARQUES et al., 2002).

Um aspecto que corrobora esta hipótese é que sob intemperismo, como evidenciado pelas condições geoquímicas ocorrentes neste estudo, minerais Vermiculitas/Esmectitas invariavelmente exibem uma camada hidróxi-entrecamada preenchida com Al com relativa estabilidade (DOUGLAS, 1989).

Estes minerais de argila foram observados nos horizontes em superfície, mas as maiores proporções de Al foram registradas em profundidade, não demonstrando uma relação bem clara. Propõem-se que os maiores conteúdos em profundidade de Al são primariamente originados da abundância elementar no material de origem bem como da virtual mobilização desse elemento, conforme indicado nas funções de mobilidade elementar (Figura 8).

Muitos autores têm demonstrando os efeitos de Al como componente rizotóxico em sistemas agrícolas (KOPPTIKE et al., 2016; NOGUEIROL et al., 2015), no entanto, raramente tais estudos consideram a química inerente de Al no papel mitigador de mudanças climáticas ao associar-se com compostos orgânicos.

Embora um conceito multifatorial, mitigação de mudanças climáticas por meio do estoque de carbono via química de Al, pode ser uma informação em primeira mão muito útil da extensão da capacidade de solos com altos conteúdo de Al em estocar carbono.

Os resultados contrastantes para estoque de carbono foram primariamente relacionados aos maiores conteúdos de Al, conforme demonstrado por correlações positivas e altamente significantes ($r=0,74$; $n=22$; $p < 0,1$) (Tabela 5).

De modo secundário, os maiores estoques podem ser explicados por simultâneos mecanismos de estabilização com minerais de argila devido à grande área superficial desses minerais ao favorecer complexos organo-minerais, protegendo carbono da decomposição microbiológica (ARAÚJO et al., 2017; BARRÉ et al., 2014; SILVA et al., 2016) ou ainda a inacessibilidade espacial de carbono orgânico do solo por decompositores e enzimas promovendo maior persistência (JIMÉNEZ; VILLAR, 2017). Embora outros fatores não considerados neste estudo podem existir para influenciar os resultados observados.

Os elevados valores de CTC efetiva (dados não mostrados) observados em subsuperfície dos Perfis 1, 2 e especialmente o Perfil 3 ($> 42,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$), foram associados com a composição mineral, especialmente com Al ($r= 0,98$ $p = 22 < 0,001$). Essa tendência parece consistente, porque os conteúdos de carbono não são muito diferentes em relação a outros solos que exibem menores CTC efetiva (MARQUES et al., 2002).

O incremento dos valores de saturação por Al (m%) com a profundidade é provavelmente devido ao efeito da saturação de Al no complexo de troca. As maiores proporções de P extraído em superfície em relação aos horizontes em subsuperfície,

podem ter sido provenientes de formas sorvidas ou minerais. Os dados sugerem que distintas formas contribuíram em diferentes estágios, por vezes provenientes de fases sorvidas da superfícies de (oxi/hidr)óxidos ou de compostos orgânicos (ANDERSON et al., 2015).

As maiores proporções de Fe_{DCB} em relação aos dados extraídos por Fe_{oxa} demonstram a predominância de fases bem cristalizadas de óxidos de Fe (DELARME LINDA et al., 2017; JIMÉNEZ; VILLAR, 2017), os quais estão em concordância com suas colorações (CANER et al., 2014).

A dinâmica de Al no solo é bastante sensível à presença de compostos orgânicos, seja como compostos simples ou complexos (ALLEONI et al., 2010). O incremento dos valores de Al_{oxa} com a profundidade em todos os perfis sugere que grande parte do Al está associado com substâncias orgânicas na forma de complexos orgânicos (CANER et al., 2014; EIMIL-FRAGA et al., 2015; YVANES-GIULIANI et al., 2014). Vale destacar que, ao contrário dos valores observados para Fe_o , o conteúdo de Al_{oxa} incrementou em subsuperfície.

Estes resultados estão em consonância aos valores de estoque de carbono demonstrando os possíveis mecanismos de estabilidade de carbono, resultando em maior tempo de residência nos solos (Tabela 3).

O conteúdo de Al extraído por pirofosfato de sódio em pH 10,0 (Al_{piro}) é considerado Al total ligado à matéria orgânica (BASCOMB, 1968). Independente do solo, Al_{piro} foi consideravelmente maior que aqueles extraído por Al_{oxa} . Esta diferença foi mais pronunciada nos horizontes B e C, onde foi observado os maiores estoques de carbono, indicando tendência para formação de complexos com Al altamente estáveis sobre complexos de média e baixa estabilidade nestes solos.

Maiores concentrações de Al_{piro} que Al_{oxa} também têm sido registrados em solos europeus (EIMIL-FRAGA et al., 2015; GARCÍA-RODEJA et al., 2004; JIMÉNEZ; VILLAR, 2017; WALNA et al., 2005) e Sul-Americanos (ARAÚJO et al., 2017; COELHO et al., 2010).

Os resultados indicam a alta afinidade de Al por matéria orgânica em comparação ao Fe, devido a maior superfície específica dos óxidos de Al (ARAÚJO et al., 2017; EIMIL-FRAGA et al., 2015; KAISER; ZECH, 1996). As reações de coordenação podem ser alcançadas graças a presença de hidroxilas (OH^-) presentes na superfície destes minerais (CORNEJO; HERNOSÍN, 1996).

A forma de Al complexado a matéria orgânica também pode ser estimado de forma alternativa por meio de extratores mais brandos não tamponados, a exemplo do CuCl_2 denominado “Al não trocável potencialmente reativo” (ALMEIDA et al., 2010; JUO; KAMPRATH, 1979).

O incremento na concentração de $\text{Al}_{\text{CuCl}_2}$ em subsuperfície onde os Perfis 1 e 3 exibiram os maiores valores e persistiu acompanhando os estoques de carbono, demonstram a alta afinidade do cátion Cu^{2+} para sítios carboxilatos com potencial deslocamento de Al ligado com compostos orgânicos (EIMIL-FRAGA et al., 2015; GARCIA-RODEJA et al., 2004) bem como ao efeito combinado da formação de polímeros OH-Al, possivelmente ocorrentes nos horizontes mais profundos (JUO; KAMPRATH, 1979).

Uma situação diferente foi observada em subsuperfície nos solos 1 e 3 ($\text{Al}_{\text{CuCl}_2} > \text{Al}_{\text{oxa}}$), provavelmente porque estes solos exibem em profundidade maiores proporções de minerais alteráveis nas frações mais grosseiras que outros solos, e ainda significativos estoques de carbono que dificultam alcançar maiores níveis de ordem cristalinas.

Os valores de Al_{DCB} exibiram ligeiro incremento com a profundidade, primariamente nos solos 3 e 4, indicando alta substituição de Al nos óxidos de Fe consistente com a presença de goethita na fração argila, a qual usualmente é mais envolvida em substituições isomórficas que hematita (CANER et al., 2014; JIMÉNEZ et al., 2017). Esta maior predominância de goethita é devido às condições termodinâmicas favoráveis, associado com menor abundância de Fe no material de origem conforme observado nestes solos.

Ocorrência e evolução das alterações induzidas pelo intemperismo de silicatos são essenciais para avaliar o estatus de fertilidade, regulação do fluxo de CO_2 no tempo geológico e fornecer melhor compreensão da mobilidade elementar (MA et al., 2011; TABOADA et al., 2016). Dessa forma, o uso de índices de intemperismo em rochas sedimentares é fundamental porque elas recobrem aproximadamente 70% da superfície de terrenos na terra (AMIOTTE-SUCHET et al., 2003).

Mobilização e redistribuição de elementos maiores durante intemperismo químico tem sido documentado em muitos solos nas últimas décadas (BRIMHALL; DIETRICH, 1987; CHADWICK et al., 1990; CANER et al., 2014; HECKMAN; RASMUSSEN, 2011; MA et al., 2011). No presente estudo, a maioria dos valores de

τ (Tau) para o elemento (Al) nos solos aluminosos da Formação Maceió, tornou-se mais negativos em direção à superfície, assim como foi observado para K (Figura 8).

O significativo incremento de Al nos Perfis 1 e 2 ($\tau > 0$) e tendência de redução de perdas para os Perfis 3 e 4, é geralmente interpretado como alto grau de mobilização associado à abundância de Al no material de origem destes solos (DELARME LINDA et al, 2017; ZHANG et al., 2015).

Comparativamente, o conteúdo de Al_2O_3 detectado por Anda (2012) em diversos materiais de origem Serpentinítico, tufas vulcânicas, basalto andesítico, gabbro indonésios não supera 17,0 % enquanto Caner et al. (2014), estudando solos originados de basaltos e rio-dacito no Brasil, observaram conteúdo de $Al_2O_3 \approx 24,0 \%$, dessa forma, demonstra-se a abundância desse elemento nos solos da Formação Maceió.

Balanço de massa para K indica que valores mais negativos foram relacionados às maiores perdas elementares no perfil. Portanto, foi evidente que houve perdas de K em superfície, a qual foi atribuída ao intemperismo de minerais micáceos e absorção pelas plantas, enquanto em subsuperfície, houve preservação parcial do elemento, situação similar foi observada por Delarmelinda et al. (2017).

Esta preservação foi atribuída em função do aporte natural do material de origem que inibiu o excesso de intemperismo de minerais micáceos (Figuras 12, 13 e 14). Valores mais negativos foram observados nos solos 1 e 3.

A perda ao fogo consiste na diferença de peso da amostra antes e após a combustão, seu valor reflete a proporcional abundância de minerais hidratados, além do conteúdo de carbonatos, carbono orgânico, enxofre, menos qualquer ganho de massa a partir da oxidação de elementos durante a análise (BABECHUK et al., 2014; MA et al., 2011).

Sob intemperismo, minerais primários não hidratados são substituídos por filossilicatos pedogênicos hidratados, tais como caulinita, illita e esmectitas, promovendo incremento dos dados de perda ao fogo (BABECHUK et al., 2014), conforme revelado na composição mineralógica da fração argila no presente estudo.

Os elevados valores do índice CIA ≥ 95 indicam moderado grau de intemperismo decorrentes da perda de cátions (Ca^{2+} , K^+ , Na^+). A transformação de feldspatos a caulinita é um dos principais processos de intemperismo envolvidos (SILVA et al., 2017).

Vale ressaltar, que mesmo sendo bastante empregado para estimar o grau de intemperismo em solos originados de rochas ígneas, o CIA foi empregado na avaliação de solos oriundos de substratos sedimentares (DELARME LINDA et al., 2015; MA et al., 2011), de modo que indicou também ser bom preditor do grau de intemperismo dos solos do presente estudo.

A composição mineralógica da fração areia exibiu maior diversidade mineral que a fração silte, especialmente nos solos 1 e 3, os quais exibiram presença de micas e feldspatos. As maiores proporções de K_2O (Tabela 6) determinadas por FRX em subsuperfície está consistente com a suposição da presença de feldspatos-K.

Quando exposto ao intemperismo, a significativa redução na abundância de Feldspatos-K em frações mais grosseiras pode explicar o porquê que minerais resistentes ao intemperismo tal como quartzo incrementam sua concentração nas frações mais finas, conforme revelado na composição da fração silte (Tabela 7) do presente estudo.

Micas observadas na fração silte e argila natural podem ser diferenciadas (biotitas vs muscovitas) por meio da difratometria de raios-X, graças ao tipo de cátion octaedral ocupante que influencia a intensidade da reflexão.

Solos aluminosos originados de sedimentos argilo-siltosos interlaminados com folhelhos da Formação Maceió demonstraram ocorrência de muscovita. Esses minerais frequentemente exibem pico de 0,5 nm no plano 002 forte e intenso. Este padrão é característico de mica dioctaedral aluminosa (muscovita) (FANNING et al., 1989).

As variações observadas na composição mineralógica da fração argila estão ditadas em grande parte pela natureza química do material de origem, sua composição reflete a complexidade geológica local e serve como um indicador dos substratos fontes durante evolução pedogenética (BABECHUK et al., 2014; DREWNIK et al., 2014; ROZANOV et al., 2017).

A ocorrência de solos com elevados valores de Al proporcionou expectativa de mineralogia mais complexa. Os DRX da fração argila demonstraram predominância de minerais 2:1, combinada com presença de Al na estrutura desses minerais, exceto o Perfil 4, bem como coexistência de caulinita e ausência de gibbsita.

Prévios autores indicaram que o maior conteúdo de Al assumido trocável parece não representar somente as formas trocáveis em equilíbrio com a solução do solo. No entanto, denota dissolução de espécies de Al não trocáveis provenientes da

entrecamada dos minerais 2:1 (ALMEIDA, 2010; CUNHA et al., 2015; MARQUES et al., 2002).

Além das formas não trocáveis, o material de origem possivelmente contribuiu enriquecendo o solo com Al, conforme revelado nos dados de FRX (Tabela 6), pois os maiores incrementos são exibidos em profundidade.

De acordo com Pal et al. (2014), Al liberado durante intemperismo tropical é adsorvido em entrecamadas de esmectitas para formar esmectitas com hidróxi-entrecamadas (HIS). Adicionalmente, em ambientes ácidos vermiculitas invariavelmente possuem entrecamadas com espécies hidróxi-Al (HIV) com significativa estabilidade (MALLA, 2002).

A preservação de HIS pode ser atribuído ao alto conteúdo de Al e Mg dado que a abundância de Mg é fator limitante na neoformação de esmectitas (Tabela 3) (REID-SOUKP; ULERY, 2002). A mineralogia de argila dos solos da sub-Bacia Alagoas pontua para minerais originalmente herdados de material sedimentar, conforme documentado por Borchardt (1989).

O Perfil 4 exibiu os menores valores de Al trocável, que pode estar relacionado à pobre contribuição do material de origem e ainda ausência de condições que conduzem formação de minerais 2:1 com hidróxi-Al, observados nestes solos (MALLA, 2002).

Ausência de gibbsita em todos os solos é sustentada pela hipótese postulada por Jackson (1963), em que de acordo com “efeito antigibbsita” tão quanto a formação de HIS/HIV ocorrer, formação de gibbsita é improvável (PAL et al., 2014). Para Liu et al. (2016) gibbsita pode também ser formada como produto do intemperismo mineral de aluminossilicatos se tempo e condições permitirem.

Nos solos investigados, Ilita foi possivelmente herdada e as condições da zona úmida tropical propiciaram sua alteração que causaram a neoformação de esmectitas e EHE.

Os dados macromorfológicos, físicos, químicos de rotina e mineralógicos dos Perfis 1, 2 e 3 confirmam a ocorrência do caráter alítico conforme os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (Embrapa, 2013). O Perfil 1 foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirodóxico; Perfil 2 foi classificado como Argissolo Vermelho Alítico endorrodóxico; Perfil 3 foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirodóxico e Perfil 4 foi classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto.

Adicionalmente, os dados dos perfis foram classificados de acordo com os critérios estabelecidos pelo IUSS/ WRB (2014) em Perfil 1: Abruptic Alisols (Clayic, Differentic); o Perfil 2 em Haplic Alisols; Perfil 3 em Abuptic Alisols (Clayic, Differentic), enquanto o Perfil 4 foi descrito como Abruptic Lixisols (Clayic, Differentic), com grandes implicações à humanidade.

5.3. Conclusões

Este estudo contribuiu no avanço do conhecimento de solos aluminosos na zona tropical úmida no nordeste brasileiro. Estes solos exibiram grande relevância climática graças às íntimas associações entre Al e compostos orgânicos na fase sólida, o que promoveu expressivo estoque de carbono.

A presença de minerais 2:1 foi significativa nestes solos e foram herdados, primariamente, do material de origem. A mineralogia dos solos confirmou que propriedades químicas, especialmente os valores de cátions básicos trocáveis (principalmente Mg) dos substratos que originaram estes solos são localmente ricos neste elemento, persistindo ao longo da evolução pedogenética, fato incomum dada a grande mobilidade e solubilidade em sistemas naturais.

Adicionalmente, os elevados valores de Al assumido trocável pode ser estar relacionado à dissolução de espécies de Al não trocáveis provenientes da entrecamada de minerais 2:1, representando um dos possíveis mecanismos para formação de solos aluminosos.

5.4. Considerações Finais

As informações e dados gerados neste estudo produzem efetivos impactos no desenvolvimento científico e tecnológico para a humanidade, com perspectivas de aperfeiçoamento de estudos em solos aluminosos, por meio da realização de pesquisas focadas na especiação e rotas bioquímicas de Al, objetivando constatar a biodisponibilidade desse elemento em aspectos rizotóxicos, produzindo relevante

informação que poderá elucidar, um dos possíveis mecanismos que ameaçam a segurança alimentar global.

5.5. Referências

ABREU, C. J. Predicting reservoir quality in the cretaceous Maceió Member of Sergipe-Alagoas Basin, Northeast Brazil. **Society of Petroleum Engineers**. 1-10. 1990.

ALMEIDA, B. G. de. **Métodos Alternativos de determinação de parâmetros físicos do solos e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Tese. Piracicaba. São Paulo. 103 p. 2008.

ALMEIDA, J. A.; CAMPOS, M. L.; FERREIRA, E. R. N.; GATIBONI, L. C. Formas de alumínio em solos do Acre. In: ANJOS, L.H.C. dos; SILVA, L.M. da; WADT, P.G.S. (Eds). **Pesquisas Coligadas da IX Reunião Brasileira de Correlação e Classificação de Solos**. Rio Branco: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 154p.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J. Acidity and Aluminum Speciation as Affected by Surface Liming in Tropical No-Till Soils. **Soil Science Society of America Journal**. 74. 3. 2010.

AMIOTTE-SUCHET, P.; PROBST, J.; LUDWIG, W. Worldwide distribution of continental rock: implications for the atmospheric /soil CO₂ uptake by continental weathering and alkalinity river transport to the oceans. **Global Biogeochemical Cycles**. 17.n. 2. 1038. 2003.

ANDA, M.; CHITTLEBOROUGH, D. J.; FITZPATRICK, R. W. Assessing parent material uniformity of red and black soil complex in the landscapes. **Catena**. 78. 142-153. 2009.

ANDA, M. Cation imbalance and heavy metal content of seven Indonesian soils as affected by elemental compositions of parent rocks. **Geoderma**. 188-189. 388-389. 2012.

ANDERSON, K. O.; TIGHE, M. K.; GUPPY, C. N.; MILHAM, P. J.; MC LAREN, T. I. Incremental acidification reveals phosphorus release dynamics in alkaline vertic soils. **Geoderma**. 259-260. 35-44. 2015.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. Caracterização e Classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 31. 1035-1044. 2007.

ARAÚJO FILHO, J. C.; GOMES, E. C.; SILVA, F. H. B. B.; OLIVEIRA NETO, M. B.; PARAHYBA, R. B. V.; CUNHA, T. J. F.; CAVALCANTI, A. C.; SANTOS, J. C. P.; SILVA, A. B.; LOPES, O. F.; LEITE, A. P.; SILVA, M. S. L.; FILHO, M. R. R.; ACCIOLLY, L. J. O.; MARQUES, F. A.; AMARAL, A. J.; LIMA, P. C. **Levantamento de Reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do Estado de Alagoas**. Recife. 2012. 245 p.

ARAÚJO, J. K. S.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; MARQUES, F. A.; VORONEY, P.; SOUZA, R. A. S.; CORRÊA, M. M.; CÂMARA, E. R. G. Umbric Ferralsols along a climosequence from Atlantic coast to the highlands of northeastern Brazil: characterization and carbon mineralization. **Geoderma**. 293. 34-43. 2017.

BABECHUK, M. G.; WIDDOWSON, M.; KAMBER, B. S. Quantifying chemical weathering intensity and trace element release from two contrasting basalt profiles, Deccan Traps, Índia. **Chemical Geology**. 363. 56-75. 2014.

BARRÉ, P.; FERNANDÉZ-UGALDE, O.; VIRTO, I.; B, VELDE.; CHENU, C. Impact of phyllosilicate mineralogy on organic carbon stabilization in soils: incomplete knowledge and exciting prospects. **Geoderma**. 235-236. 382-395. 2014.

BASCOMB, C. L. Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups. **Journal of Soil Science**. 19. 1968.

BERNINI, T. A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREZ, D. V.; FONTANA, A.; CALDERANO, S. B.; WADT, P. G. S. Quantification of aluminium in soil of the Solimões formation, Acre State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 37. 1587-1598. 2013.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (Ed). **Methods of soil analysis**. Part I. Soil Science Society of America. Madison.p. 1986. 363-375.

BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison. Soil Science Society of America. 1989. p. 679.

BRAUNACK, M. V.; MC GARRY, D. Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Australia. **Soil & Tillage Research**. 89. 86-102. 2006.

BRIMHALL, G. H.; DIETRICH, W. E. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity and strain in metasomatic hydrochemical systems: results on weathering and pedogenesis. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. 51.3. 567-587. 1987.

BRINKMAN, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. **Geoderma**. 3. 199-206. 1970.

BROWN, G.; BRINDLEY, G. W. **X-ray diffraction procedures for clay mineral identification**. In: Brindley, G. W., Brown, G (Eds). London. Mineralogical Society.p. 305-360. 1980.

BUENO, G, V. Diacronismo de eventos no rift Sul-Atlântico. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro. 12. (2). 203-229. 2004.

CANER, L.; RADTKE, L. M.; VIGNOL-LELARGE, M. L.; INDA, A. V.; BORTOLUZZI, E. C.; MEXIAS, A. S.; Basalt and rhyo-dacite weathering and soil clay formation under subtropical climate in Southern Brazil. **Geoderma**. 235 – 236. 100-112. 2014.

CHADWICK, O. A.; BRIMHALL, G. H.; HENDRICKS, D. M. From a black to a gray box – a mass balance interpretation of pedogenesis. **Geomorphology**. 3. 369 – 390. 1990.

CHAPMAN, H. D. **Cation-Exchange Capacity**. In: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Nº 9. SSSA. Madison. 1965.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; FRANCO, A. L. C.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma**. 267. 156-168. 2016.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenitos do Grupo Bauru, I-Química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27. 483-494. 2003.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P.; PÉREZ, X. L. O.; MARTINS, V. M.; VÁZQUEZ, F. M. Química e gênese de solos desenvolvidos sob vegetação de restinga no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 34. 1951-1964. 2010.

CORNEJO, J.; HERNOSÍN, M. C. Interactions of humic substances in soil clays. In: Piccolo, A. (Ed.). **Humic Substances in Terrestrial Ecosystems**. Elsevier. Amsterdam. 1996. pp. 595-624.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. **The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses**. 2nd. ed. Completely revised and extended edition. Wiley. 2006. 703p.

CORNU, S.; QUÉNARD, L.; COUSIN, I.; SAMOUËLIAN, A. Experimental approach of lessivage: quantification and mechanisms. **Geoderma**. 213. 357-370. 2014.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T. C. P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32: 297-313. 2008.

COSTA, E. U. C. **Caracterização e gênese de Argissolo e Nitossolos na bacia Cabo, Pernambuco**. 2012. 128f. Dissertação (Dissertação em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

CRUZ, L. R. **Caracterização Tectono-Estratigráfica da sequência transicional na sub-Bacia de Sergipe**. 2008. 195f. Tese (Doutorado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; BARBOZA, B. B. Relação entre alumínio extraível com KCl e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 38. 1387-1401. 2014.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A.; TESTONI, S. A.; BARBOZA, B. B. Formas de alumínio em solos ácidos brasileiros com teores excepcionalmente altos de Al^{3+} extraível com KCl. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 39. 1362-1377. 2015.

DANTAS, J. R. A.; CALHEIROS, M. E. V. **Mapa geológico do Estado de Alagoas**. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Recife. 1985. 112 p.

DELARMELINDA, E. A. **Solos desenvolvidos nas Bacias Sedimentares do Acre e do Solimões, Amazônia Sul-Occidental**. 2015. 50 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

DELARMELINDA, E. A.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; WADT, P. G. S.; DENG, Y.; CAMPOS, M. C. C.; CÂMARA, E. R. G. Soil-landscape relationship in a chronosequence of the middle Madeira River in Southwestern Amazon, Brazil. **Catena**. 149. 199-208. 2017.

DOUGLAS, L. A. Vermiculitas. In: DIXON, J. B. WEED, S. B. (Eds.). **Minerals in soil environment**. 1989. p. 638.

DREWNIK, M.; SKIBA, M.; SZYMANSKI, W.; ZYLA, M. Mineral composition vs soil forming process in loess soils – a case study from Kraków (Southern Poland). **Catena**. 119. 166-173. 2014.

EIMIL-FRAGA, C.; ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, E.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; FERNÁNDEZ-SANJURJO, M. Influence of parent material on the aluminum fractions in acidic soils under *Pinus pinaster* in Galicia (NW Spain). **Geoderma**. 255-256. 50-57. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises de solo**. Embrapa Solos. Rio de Janeiro. 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro. CNPS. 2013. 353p.

EO, J.; PARK, KEE-CHOON. Long-term effects in imbalanced fertilization on the composition and diversity of soil bacterial community. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 231. 176-182. 2016.

EUROSTAT, **União Europeia**. European Commission: Your key to European statistics. Disponível em: <http://www.europa.eu/european-union/about-eu/countries/member-countries/belgium_en.php>. Acessado em 16 de agosto de 2017.

FANNING, D. S.; KERAMIDAS, V. Z.; EL-DESOKY, M. Micas. In: DIXON, J. B. WEED, S. B. (Eds.). **Minerals in soil environment**. 1989. p. 568.

FEIJO, F. J. Bacias de Sergipe e Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro. 8. (1). 149-161. 1994.

FLORÊNCIO, C. P. **Geologia dos Evaporitos Paripueira na Sub-Bacia de Maceió, Alagoas, Região Nordeste do Brasil**. 2001. 177f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

FRANÇA, D.; LONGO, K.; RUDDORF, B.; AGUIAR, D.; FREITAS, S.; STOCKLER, R.; PEREIRA, G. Pre-harvest sugarcane burning emission inventories based on remote sensing data in the state of São Paulo, Brazil. **Atmospheric Environment**. 99. 446-456. 2014.

GARCÍA-RODEJA, E.; NÓVOA, J. C.; PONTEVEDRA, X.; MARTÍNEZ-CORTIZAS, A.; BUURMAN, P. Aluminium fractionation of European volcanic soils by selective dissolution techniques. **Catena**. 56. 155-183. 2004.

GEE, G. W.; OR, D. **Particle size analysis**. In: Dane. J. H. Topp. C. T. (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Physical Methods*. SSSA. Madison. 255-293. 1662 p. 2002.

GIAROLA, N. F. B.; LIMA, H. V.; ROMERO, R. E.; BRINATTI, A. M.; SILVA, A. P. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 33. 33-40. 2009.

GRENNÉ-KELLY, R. The identification of montmorillonoids in clay. **European Journal of Soil Science**. 4. 233-237. 1953.

HANCOCK, P. L.; SKINNER, B. J. **The Oxford Companion to the Earth**. Oxford University Press. 2000. 1174 p.

HARGROVE, W. L.; THOMAS, G. W. Extraction of aluminium from aluminium-organic matter complexes. **Soil Science Society of America Journal**. 48.1458-1460. 1981.

HECKMAN, K.; RASMUSSEN, C. Lithologic controls on the regolith weathering and mass flux in forested ecosystems of the southwestern USA. **Geoderma**. 164. 99-111. 2011.

HUANG, L-M.; ZHANG, X-H.; SHAO, M-A.; ROSSITER, D.; ZHANG, G. L. Pedogenesis significantly decreases the stability of water-dispersible soil colloids in a humid tropical region. **Geoderma**. 274. 45-53. 2016.

INMET, **INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA**, Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php>>. Acessado em 15 de fevereiro de 2017.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World Reference Base for Soil Resources**. World Soil Resources Report N° 106. FAO. Rome. 2014. 203 p.

JACKSON, M. L. Aluminium bonding in soils: a unifying principle in soil science. **Soil Science Society of America Journal**. 27. 1-10. 1963.

JACKSON, M. L. **Soil Chemical Analysis: Advanced Course**. 29 th ed. University of Wisconsin. Madison. 895 p. 1975.

JIMÉNEZ, J. J.; VILLAR, L. Mineral controls on soil organic C stabilization in alpine and subalpine soils in the Central Pyrenees: Insights from wet oxidation methods, mineral dissolution treatment and radiocarbon dating. **Catena**. 149. 363-373. 2017.

JUO, A. S. R.; KAMPRATH, E. J. Copper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive aluminum pool in acid soil. **Soil Science Society of America Journal**. 43. 35-38. 1979.

KAISER, K.; ZECH, W. Defects in estimation of Aluminium in húmus complexes of podzolic soils by pyrophosphate extraction. **Soil Science**. 161. 452-458. 1996.

KOPPEN, W.P. **Grundriss Der Klimakunde**. 2 ed. Walter de Gruyter. Berlin. 388 p. 1931.

KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W.; WANG, P.; BLAMEY, F. P. C. Kinetics and nature of aluminum rhizotoxic effects: a review. **Journal of Experimental Botany**. 67. 4451-4467. 2016.

LANSON, B.; FERRAGE, E.; HUBERT, F.; PRÊT, D.; MARESCHAL, L.; TURPAULT, M.-P.; RANGER, J. Experimental aluminization of vermiculite interlayers: An X-ray diffraction perspective on crystal chemistry and structural mechanisms. **Geoderma**. 249-250. 28-39. 2015.

LIM, C. H.; JACKSON, M. L. Expandable phyllosilicate reactions with lithium on heating. **Clay & Clay Minerals**. 34. 346-352. 1986.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposequência da Bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 30. 59-68. 2006.

LINDSAY, W. L. Aluminum. In: _____ (Ed.). **Chemical Equilibria in Soils**. John Wiley & Sons. New York. 1979. p. 40.

LIRA, A. R. A. Caracterização em multiescala de análogos de reservatórios da Formação Maceió (Aptiano da Bacia de Alagoas) nas regiões de Japaratinga e Morros de Camaragibe-AL. (**Tese de Doutorado**). UFPE. 2004. 184 p.

LIU, W.; LIU, C.; BRANTLEY, S. L.; XU, Z.; ZHAO, T.; LIU, T.; YU, C.; XUE, D.; ZHAO, Z.; CUI, L.; ZHANG, Z.; FAN, B.; GU, X. Deep weathering along a granite ridge in a subtropical climate. **Chemical Geology**. 427. 17-34. 2016.

MA, L.; JIN, L.; BRANTLEY, S. L. How mineralogy and slope aspect affect REE release and fractionation during shale weathering in the Susquehanna/Shale Hills Critical Zone Observatory. **Chemical Geology**. 290. 31-49. 2011.

MA, L.; TENG, F.-Z.; JIN, L.; KE, S.; YANG, W.; GU, H.-O.; BRANTLEY, S. L. Magnesium isotope fractionation during shale weathering in the Shale Hills Critical Zone Observatory: Accumulation of light Mg isotopes in soils by clay mineral transformation. **Chemical Geology**. 397. 37-50. 2015.

MALLA, P. B. Vermiculites. In: Dixon, J. B.; SCHULZE, D. G. (Eds.). **Soil Mineralogy with Environmental Applications**. Soil Science Society of America Book Series. Madison. 2002. p. 509.

MARQUES, J. J.; TEIXEIRA, W. G.; SCHULZE, D. G.; CURI, N. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. **Clay Minerals**. 37. 651-661. 2002.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. Solos alíticos da Zona da Marta Norte do Estado de Alagoas. **I Reunião Nordestina de Ciência do Solo**. Areia/PB. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2013.

MARTINS, F. A. J. **Geologia da Parte Setentrional da Bacia Sedimentar de Alagoas, Área II: Norte de Porto Calvo**. UFPE. Convênio UFPE/PETROBRÁS. Recife. 1987.

MC BRIDE, M. B. **Environmental Chemistry of Soils**. Oxford University Press. New York. 1994. p. 169.

MC KEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**. 46. 1966.

MC KEAGUE, J. A.; BRYDON, J. E.; MILES, N. M. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. **Soil Science Society of America Journal**. 35. 33-38. 1971.

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 Mineral**. 7. 317-327. 1960.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina Soil Testing Laboratories**. University of North Carolina. Raleigh. 1953.

- MOHRIAK, W. U. **Bacias sedimentares da margem continental brasileira. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil.** In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (eds.). CPRM. Brasília. 2003.
- MOORE, D. M.; REYNOLDS Jr, R. C. **Identification of mixed-layered clay minerals. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals.** 2nd ed. Oxford University Press New York. 378 p. 1997.
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. **Revised Washable Edition. Munsell Color.** New Windsor. New York. 2000.
- NESBITT, H. W.; YOUNG, G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lites. **Nature.** 299. 715-717. 1982.
- NOGUEIROL, R. C.; MONTEIRO, F. A.; AZEVEDO, R. A. Tropical soils cultivated with tomato: fractionation and speciation of Al. **Environmental Monitoring and Assessment.** 187 (4). 2015.
- PAL, D. K.; WANI, S. P.; SAHRAWAT, K, L.; SRIVASTAVA, P. Red ferruginous soils of tropical Indian environments: A review of the pedogenic processes and its implications for edaphology. **Catena.** 121. 260-278. 2014.
- PEDRON, F. A.; OLIVEIRA, R. B.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; KILCA, R. V. Boundary between soil and saprolite in Alisols in the South of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 39. 643-653. 2015.
- PRANDEL, L. V.; DIAS, N. M. P.; SAAB, S. C.; BRINATTI, A. M.; GIAROLA, N. F. B.; PIRES, L. F. Characterization of kaolinite in hardsetting clay fraction using atomic force microscopy, X-ray diffraction, and the Rietveld method. **Journal of Soils and Sediments.** 17. 2144-2155. 2017.
- REID-SOUK, D.; ULERY, A. Smectites. In: Dixon, J. B.; SCHULZE, D. G. (Eds.). **Soil Mineralogy with Environmental Applications.** Soil Science Society of America Book Series. Madison. 2002. p. 509.
- RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, NE, Brazil. **Plant and Soil.** 281. 339-351. 2006.
- ROLLINSON, H. **Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation.** Longman Scientific & Technical. Harlow. 1993. 376p.
- ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GARCÍA, A. C.; BERBARA, R. L. L.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; GONZÁLEZ, A. P. Effects on the composition and structural properties of the humified organic matter of soil in sugarcane strawburnig: A chronosequence study in Brazilian Cerrado of Goiás State. **Agriculture, Ecosystems and Environment.** 216. 34-43. 2016.

ROZANOV, A.; LESSOVAIA, S.; LOUW, G.; POLEKHOVSKY, Y.; CLERCQ, W. Soil clay mineralogy as a key to understanding planation and formation of fluvial terraces in the South African Lowveld. **Catena**. 156. 375-382. 2017.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade. 6. ed. Viçosa, MG. SBCS, 2013. 102 p.

SILVA, Y. J. A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; STRAATEN, P. V.; SOUZA Jr, V. S.; FERREIRA, T. O. Weathering rates and carbono storage along a climosequence of soils developed from contrasting granites in northeast Brazil. **Geoderma**. 284. 1-12. 2016.

SILVA, Y. J. A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; STRAATEN, P. V.; SOUZA Jr, V. S.; SILVA, Y. J. A. B.; SANTOS, C. A.; ARAÚJO, J. C. T. Influence of metaluminous granite mineralogy on the rare earth element geochemistry of rocks and soils along a climosequence in Brazil. **Geoderma**. 306. 28-39. 2017.

SINGH, U.; UEHARA, G. **Electrochemistry of the Double layer: principles and applications to soils**. In: SPARKS, D. L. (Ed.). Soil Physical Chemistry. CRC Press. Boca Raton. 1998. p. 1-46.

SOUZA, R. V. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; ALMEIDA, M. C.; CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO FILHO, M. R. SCHULZE, M. B. B. Caracterização de solos em uma topoclimosequência no Maciço de Triunfo – Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 34. 1259-1270. 2010.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; COOPER, M.; TORMENA, C. A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**. 72. 270-277. 2015.

SPARKS, D. L. **Environmental Soil Chemistry**. 2 nd ed. Academic Press. California. p. 110. 2003.

SPOSITO, G. **The Environmental Chemistry of Aluminum**. 2nd ed. CRC Lewis Publishers. Berkeley. California. p. 171. 1995.

STATSOFT INC. **Statistica (Data Analysis Software System)**. Version 7. 2008.

TABOADA, T.; RODRÍGUEZ-LADO, L.; FERRO-VÁZQUEZ, C.; STOOPS, G.; CORTIZAS, A. M. Chemical weathering in the volcanic soils of Isla Santa Cruz. **Geoderma**. 261. 160-168. 2016.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**. 37. 29-38. 1934.

WALNA, B.; SPYCHALSKI, W.; SIEPAK, J. Assessment of potentially reactive pools of aluminium in poor forest soils using two methods of fractionation analysis. **Journal of Inorganic Biochemistry**. 99.1807-1816. 2005.

YVANES-GIULIANI, Y. A. M.; WAITE, T. D.; COLLINS, R. N. Exchangeable and secondary mineral reactive pools of aluminium in coastal lowland acid sulfate soil. **Science of the Total Environment**. 485-486. 232-240. 2014.

ZHANG, Z-J.; LIU, C-Q.; ZHAO, Z-Q.; CUI, L-F.; LIU, W-J.; LIU, T- Z.; LIU, B-J.; FAN, B-L. Behavior of redox-sensitive elements during weathering of granite in subtropical area using X-ray absorption fine structure spectroscopy. **Journal of Asian Earth Sciences**. 105. 418-429. 2015.

APÊNDICE A

Dados Macromorfológicos e analíticos dos solos estudados

A - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL- 1

Data- 21/01/2016

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alítico abrupto epirredóxico, A moderado, textura média/muito argilosa, fase floresta subperenifólia, relevo suave ondulado/ondulado.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Rodovia 105, trecho Porto Calvo - Matriz de Camaragibe, perfil localizado à margem esquerda da Rodovia AL-105, após o Posto de Combustível Cajá, distante 17 km do município de Japaratinga e 177 km do município de Recife-PE. Porto Calvo (AL), 09° 03' 29,4" S / 35° 25' 30,7" W Gr.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE, COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço superior da encosta, com 12-25% de declividade.

ALTITUDE – 67 metros

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – sedimentos argilo-siltosos interlaminados com folhelhos, Cretáceo

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Maceió.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos argilo-siltosos interlaminados com folhelhos

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – suave ondulado/ ondulado.

RELEVO REGIONAL – suave ondulado e ondulado.

EROSÃO – Laminar severa.

DRENAGEM – Moderadamente drenado/ drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Tropical subperenifólia.

USO ATUAL – Área de pousio de Cana-de-açúcar (campo dominado por sapé e leucina/estanga sangue).

CLIMA – As', da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Mateus Rosas Ribeiro Filho e Gerson Moreira Barros.

B – DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA

PERFIL- 1

Ap 0-19 cm, bruno-escuro (10 YR 3/3, úmida) e bruno (10 YR 5/3, seca); francoarenosa; moderada pequena e média blocos subangulares; macio; friável e lig. plástica e pegajosa; transição clara e plana.

BA 19-45 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida), bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/6, úmida), bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida); muito argilosa; moderada pequena a média blocos angulares e subangulares; cerosidade pouca e moderada; duro e muito duro; friável e firme; muito plástica e pegajosa; transição gradual e plana;

Bt 45-97 cm, coloração variegada, úmida, composta de amarelo-brunado (10 YR 6/8, úmida), bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida), vermelho (5 YR 4/6, úmida); muito argilosa; moderada e forte; pequena a média blocos angulares e subangulares; cerosidade pouca e fraca; muito duro e extremamente duro; firme; muito plástica e pegajosa; transição clara e ondulada;

C 97-122 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-claro-acinzentado (10 YR 6/3, úmida), bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida), vermelho (2,5 YR 4/6, úmida), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmida); argila; moderada a forte pequena a média blocos angulares; muito duro e extremamente duro; firme e muito firme; plástica e pegajosa; transição clara (7 -10 cm) e ondulada.

C/Cr 122-151 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-avermelhado-claro (10 YR 6/3, úmida), bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida), mosqueado vermelho (2,5 YR 4/6, úmida), vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmida); argila; forte pequena a média blocos angulares; muito duro e extremamente duro; firme e muito firme; plástica e pegajosa; transição clara e irregular (15-24 cm).

Cr 151-195 cm +, cinzento-claro (10 YR 7/1, úmida) mosqueado vermelho-escuro (2,5 YR 3/6) e amarelo (10 YR 7/6); argila; forte pequena a média blocos angulares; muito duro e extremamente duro; firme e muito firme; plástica e pegajosa.

Raízes – Muitas nos horizontes A e BA, comuns no horizonte Bt, poucas nos horizontes C e C/Cr e raras no C/Cr.

Observações:

O 5º horizonte (horizonte C/Cr) tem maior ocorrência de cores vermelhas que o horizonte anterior.

O 6º horizonte tem muitas concreções.



Perfil 1: Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredóxico

Horiz. (prof.)	Areia (2000-53 μ m)	Silte (53-2 μ m)	Argila (<2 μ m)	ADA	F	Ds	Dp
	(g kg ⁻¹)				%	(g cm ⁻³)	
Perfil 01 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredóxico							
Ap (0-19)	621	203	176	50	71	1,32	2,69
BA (19-45)	237	116	646	0	100	1,36	2,74
Bt (45-97)	183	119	698	0	100	1,44	2,91
C (97-122)	170	255	575	0	100	1,57	2,67
C/Cr (122-151)	210	265	525	0	100	1,41	2,69
Cr (151-195 +)	87	499	413	0	100	1,40	2,71

ADA: argila dispersa em água; F: floculação; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas: - não determinado.

Horiz. (prof.)	COT ^a g kg ⁻¹	Estoque COT Mg ha ⁻¹	pH KCl	Ca ²⁺ cmol _c kg ⁻¹	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ ^(b)	H+Al ³⁺	CTC ^(c)	CTCef ^(d)	At. de argila	V %	m	P mg kg ⁻¹
Perfil 01 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epi-redúxico															
Ap (0-19)	8,6	21,8	3,9	1,23	0,73	0,12	0,06	0,99	5,25	6,29	3,13	36	29	32	4,42
BA (19-45)	8,6	30,3	3,8	1,43	1,33	0,02	0,08	4,81	7,88	14,51	7,68	22	27	63	0,98
Bt (45-97)	6,2	46,3	3,8	0,9	1,86	0,02	0,08	4,81	8,34	17,29	7,67	25	26	63	0,69
C (97-122)	5,0	19,6	3,7	0,29	4,53	0,07	0,12	9,51	12,44	34,94	14,51	61	29	66	0,51
C/Cr (122-151)	4,8	19,8	3,6	0,25	4,92	0,08	0,19	32,25	15,40	25,27	37,70	48	26	86	0,66
Cr (151-195 +)	4,8	29,5	3,6	0,35	5,93	0,10	0,24	31,69	16,89	22,22	38,31	54	28	83	0,85

^a Carbono orgânico total.

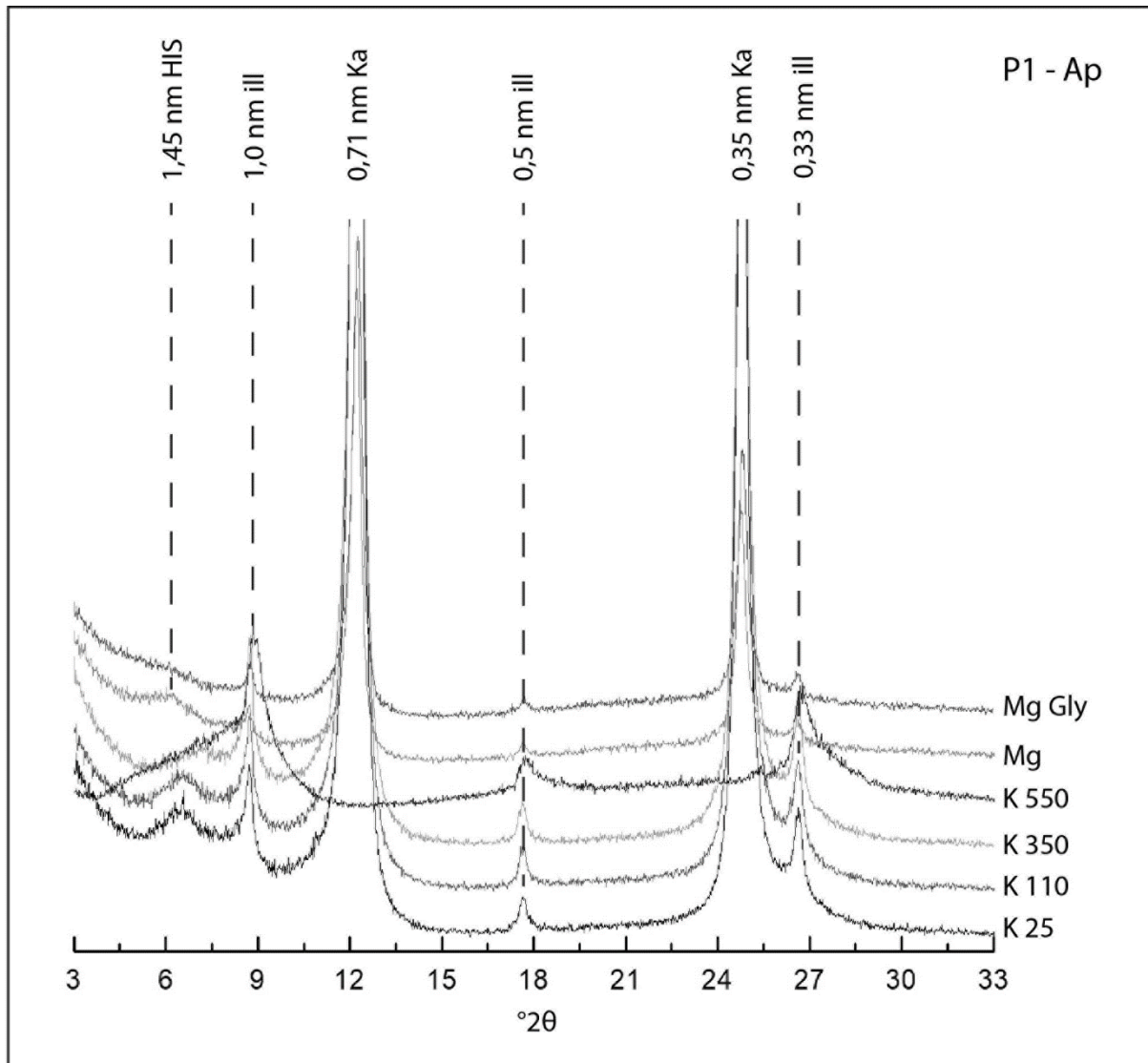
^b Al trocável extraível por solução de KCl 1 mol L⁻¹.

^c Capacidade de troca de cátions.

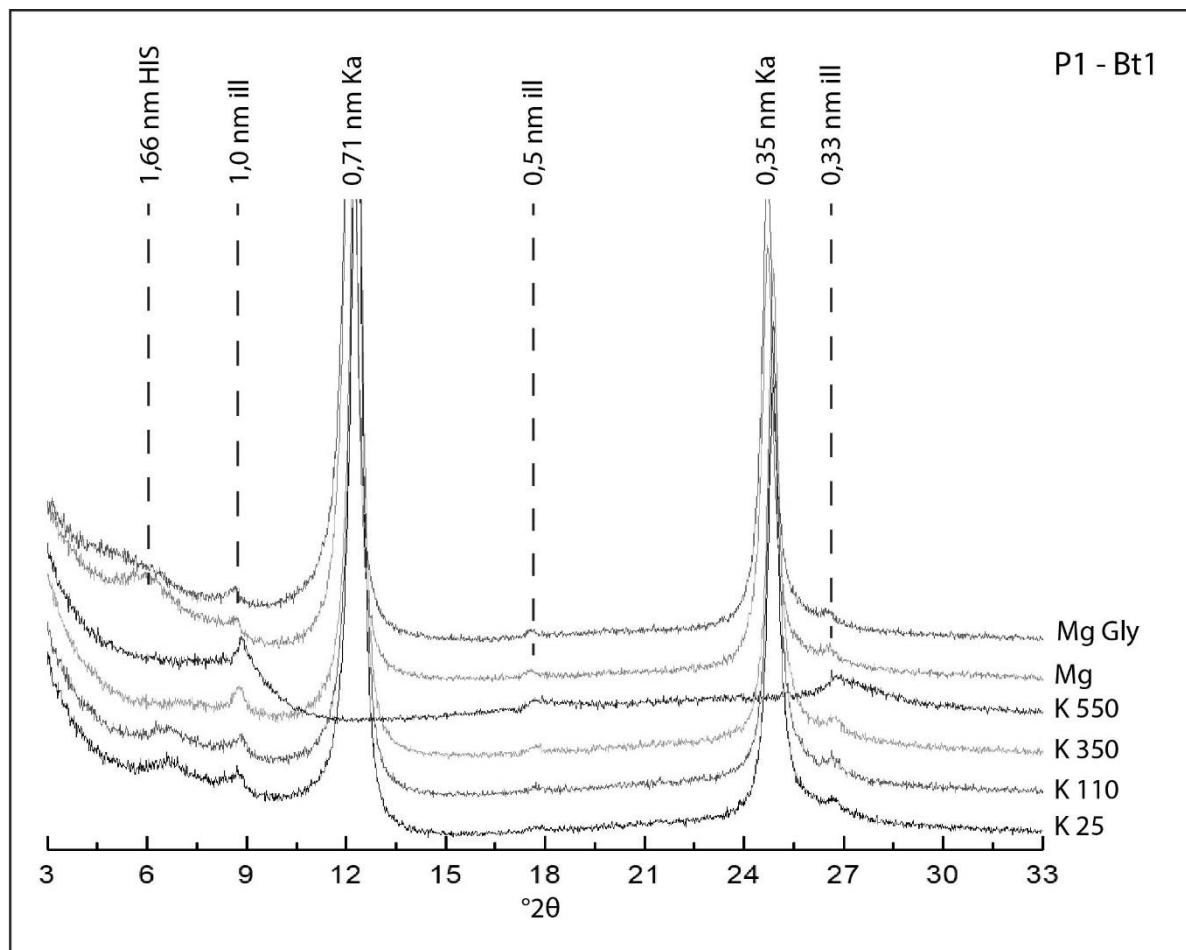
^d Capacidade de troca de cátions efetiva.

Horizonte cm	Fe oxa g kg ⁻¹	Fe _{DCB}	Fe _{oxa} /Fe _{DCB}
Perfil 01 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epi-redúxico			
Ap (0-19)	5,24	29,91	0,18
Bt (45-97)	5,94	79,30	0,07
C/Cr (122-151)	2,15	29,82	0,07

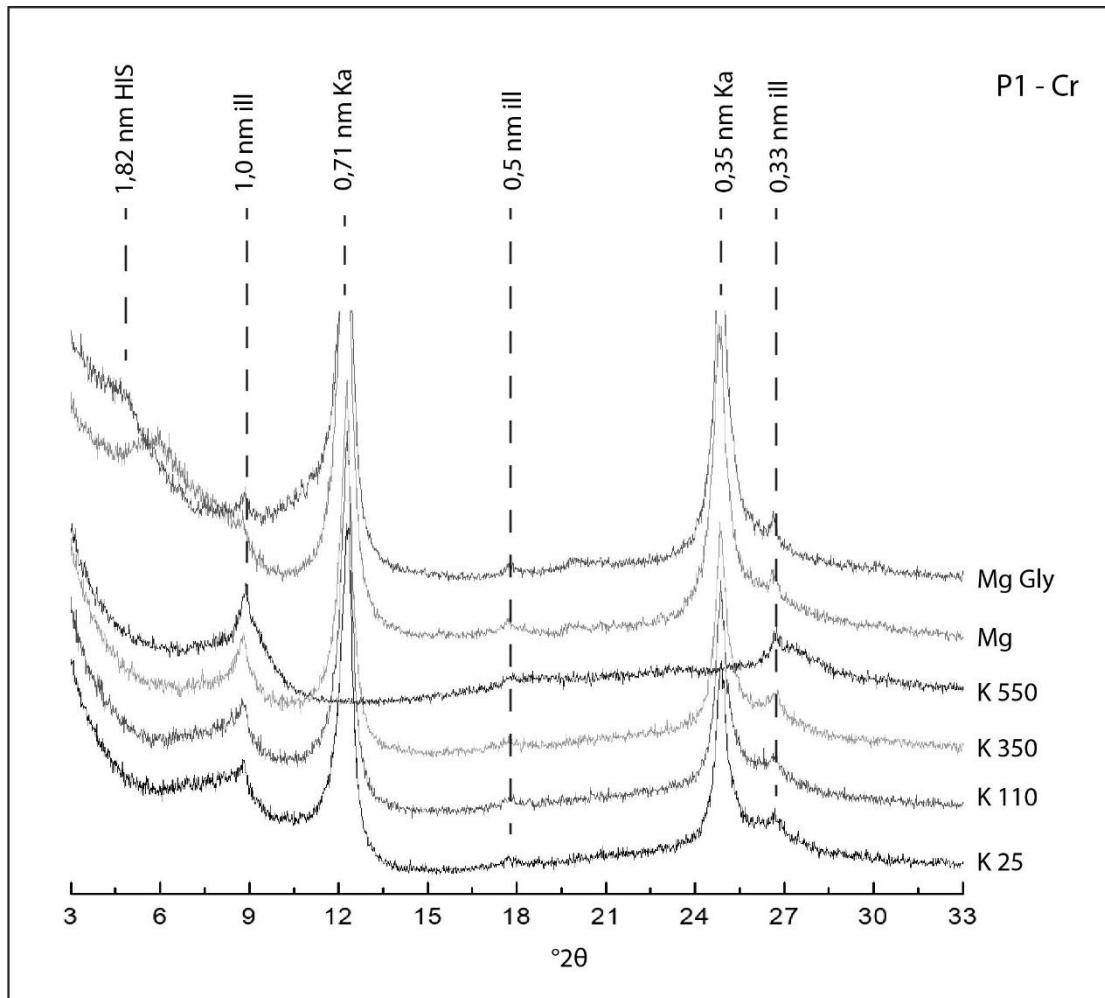
Em que: Oxa: Oxalato de amônio; DCB: Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte Ap, Perfil 1: Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirredóxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. HIS: Esmectita com hidóxi entrecamadas; Il: Ilita; Ka: Caulinita.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte Bt, Perfil 1: Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epi-redoxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. HIS: Esmeclita com hidóxi entrecamadas; II: Ilita; Ka: Caulinita.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte C, Perfil 1: Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupto epirodóxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. HIS: Esmectita com hidóxi entrecamadas; II: Ilita; Ka: Caulinita.

A - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL- 2

Data- 21/01/2016

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO VERMELHO Alítico endorredóxico, A moderado, textura argilosa, fase floresta subperenifólia, relevo suave ondulado e ondulado.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Rodovia AL 105, trecho Porto Calvo - Matriz de Camaragibe, perfil localizado à margem direita da Rodovia AL-105, antes do Posto de Combustível Cajá, próximo à caixa-d'água, distante 16 km do município de Japaratinga e 177 km do município de Recife-PE. Porto Calvo (AL), 09° 02' 47,8" S / 35° 25' 09,6" W Gr.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE, COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço superior da encosta (quase topo) com 5- 12% de declividade.

ALTITUDE – 105 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos argilo-siltosos interlaminados com folhelhos, Cretáceo.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Maceió.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos argilo-siltosos interlaminados com folhelhos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – suave ondulado/ ondulado.

RELEVO REGIONAL – suave ondulado e ondulado.

EROSÃO – Laminar severa.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Tropical subperenifólia.

USO ATUAL – Área de pousio de Cana-de-açúcar e bastante rabo de raposa.

CLIMA – As'

DESCRITO E COLETADO POR – Mateus Rosas Ribeiro Filho e Gerson Moreira Barros.

B – DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA

PERFIL- 2

Ap 0-14 cm, bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmida) bruno (7,5YR 4/4, úmido/ 7,5 YR 5/2, seca); argila; moderada pequena a média blocos angulares e subangulares; extremamente duro; firme e muito firme; plástica e lig. pegajosa; transição clara e plana.

B 14-38 cm, vermelho (2,5YR 4/6, úmida); argila; moderada pequena e média blocos angulares e subangulares; cerosidade comum e fraca; extremamente duro; firme; plástica e pegajosa; transição clara e ondulada (7-12 cm).

B/C 38-63 cm, coloração variegada, úmida, composta de vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmida) e bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida); argila; moderada; pequena blocos angulares e subangulares; firme e plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

C1 63-143 cm, bruno- avermelhado-claro (2,5 Y 7/3); argila; moderada; muito pequena a pequena blocos angulares e subangulares; firme e muito firme e lig. plástica e lig. pegajosa; transição plana e gradual.

C2 143-200 cm, coloração variegada, úmida, composta de vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmida) e amarelo-claro-acinzentado (2,5 Y 7/3, úmida); francoargilosa; muito pequena a pequena blocos angulares e subangulares; firme e muito firme e lig. plástica e lig. pegajosa.

Raízes -

Observações:

Perfil muito úmido

A avaliação da consistência seca foi dificultada pela elevada umidade do perfil;

Linha branca entre os horizontes C1 e C2;

A estimativa da cor foi realizada com tempo nublado (pouco reflexo);

Bolinhas douradas presentes no 1º horizonte e muitas no 2º horizonte (presente somente na zona Sul de Pernambuco);



Perfil 2: Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico

Horiz. (prof.)	Areia (2000-53 μ m)	Silte (53-2 μ m)	Argila (<2 μ m)	ADA	F	Ds	Dp
	(g kg ⁻¹)				%	(g cm ⁻³)	
Perfil 02 - Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico							
Ap (0-14)	363	223	414	259	38	1,60	2,66
Bt (14-38)	200	260	539	54	90	1,39	2,79
B/C (38-63)	332	198	469	0	100	1,47	2,65
C1 (63-143)	317	231	452	0	100	1,41	2,73
C2 (143-200)	367	267	366	0	100	1,52	2,64

ADA: argila dispersa em água; F: floculação; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas: - não determinado.

Horiz. (prof.)	COT ^a g kg ⁻¹	Estoque COT Mg ha ⁻¹	pH KCl	Ca ²⁺ cmol _c kg ⁻¹	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ ^(b)	H+Al ³⁺	CTC ^(c)	CTCef ^(d)	At. de argila	V %	m	P mg kg ⁻¹
Perfil 02 - Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico															
Ap (0-14)	7,6	17,2	4,6	3,35	4,14	0,65	0,14	0,15	4,22	17,41	8,43	42	66	2	2,85
Bt (14-38)	6,3	20,8	4,0	1,40	2,19	1,05	0,10	2,22	6,33	18,97	6,96	35	43	32	2,78
B/C (38-63)	5,9	21,6	3,8	0,88	0,72	0,52	0,06	5,40	8,33	18,80	7,58	40	21	71	1,09
C1 (63-143)	5,9	67,0	3,8	0,41	0,41	0,14	0,05	20,14	9,70	18,93	21,16	42	9	95	0,85
C2 (143-200)	5,4	47,0	3,7	0,22	1,09	0,01	0,04	18,94	10,75	16,93	20,31	46	11	93	0,44

^a Carbono orgânico total.

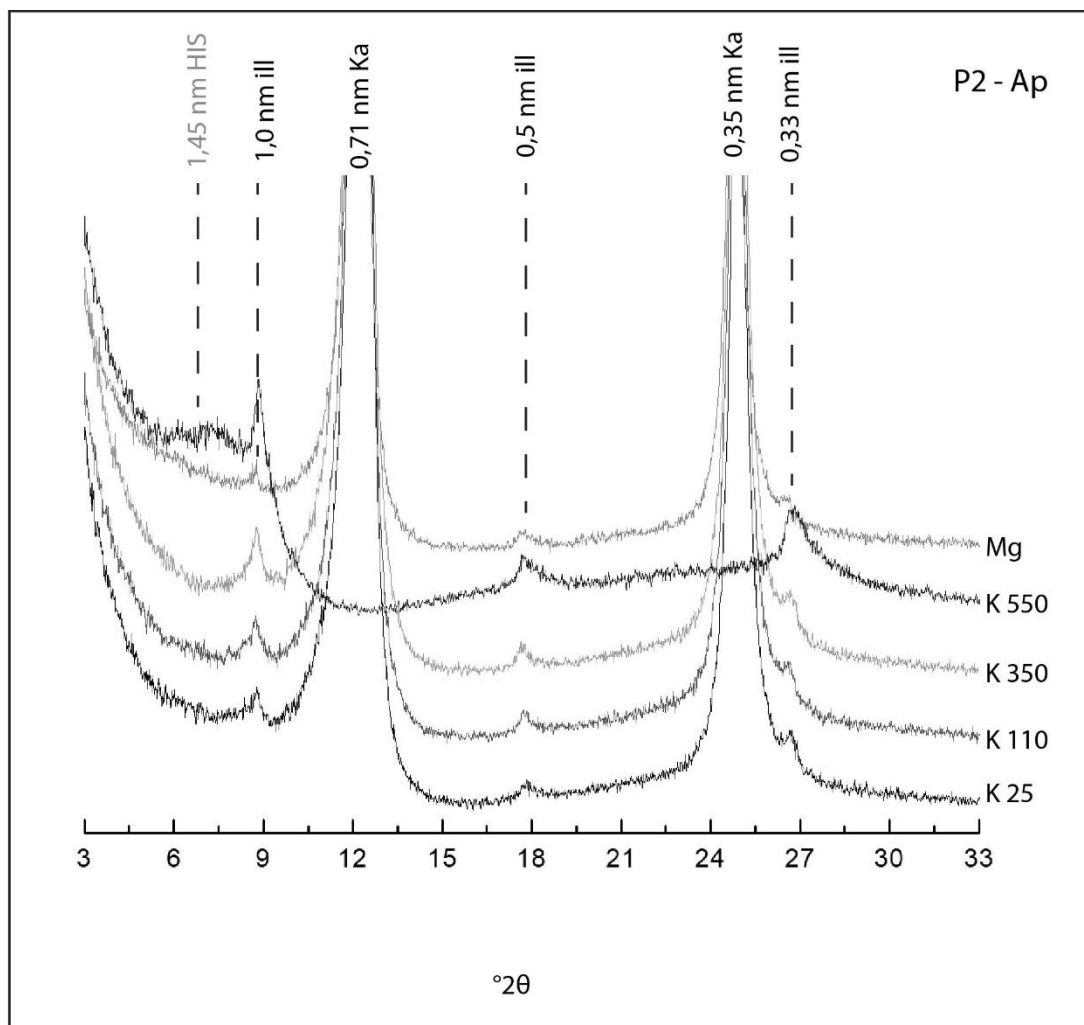
^b Al trocável extraível por solução de KCl 1 mol L⁻¹.

^c Capacidade de troca de cátions.

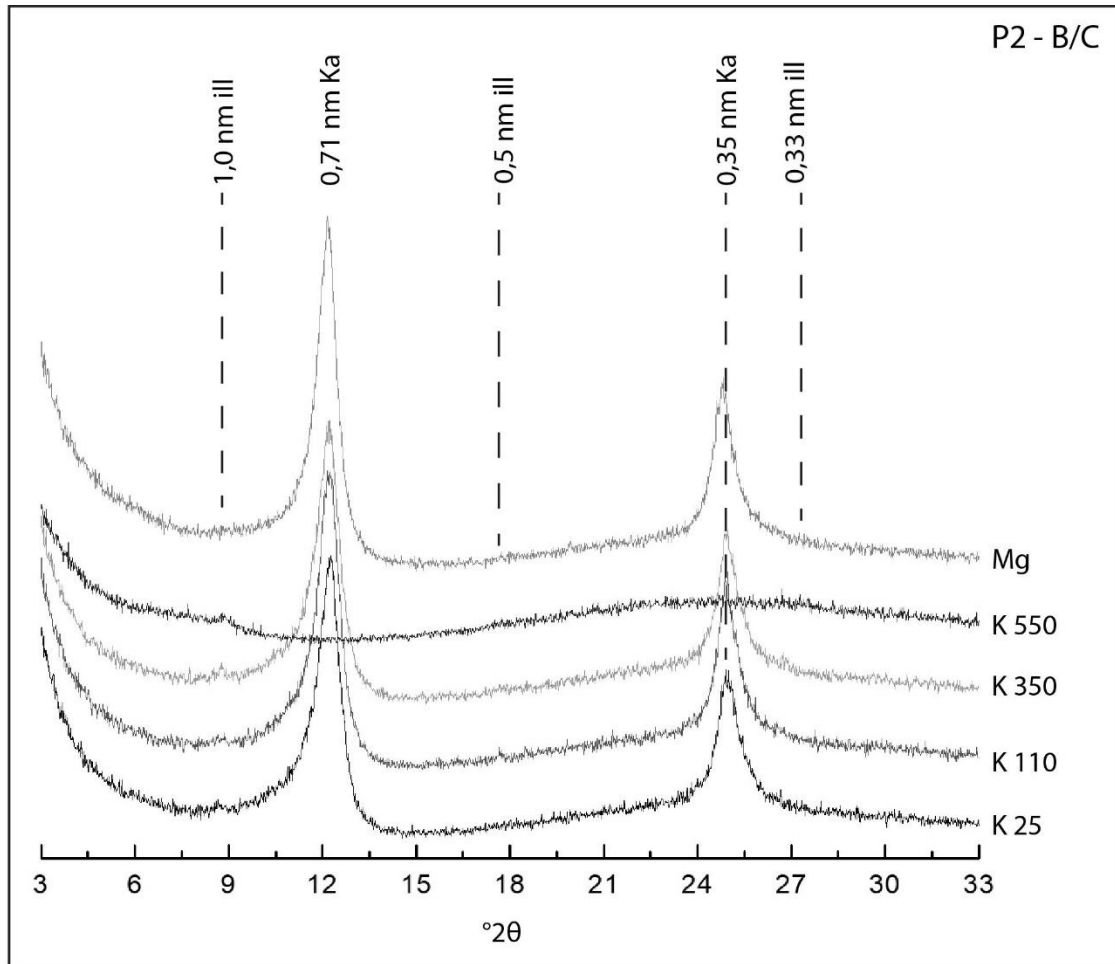
^d Capacidade de troca de cátions efetiva.

Horizonte cm	Fe oxa g kg ⁻¹	Fe _{DCB}	Fe _{oxa} /Fe _{DCB}
Perfil 02 - Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico			
Ap (0-14)	9,12	50,95	0,18
B/C (38-63)	2,55	36,97	0,07
C2 (143-200)	1,80	55,87	0,03

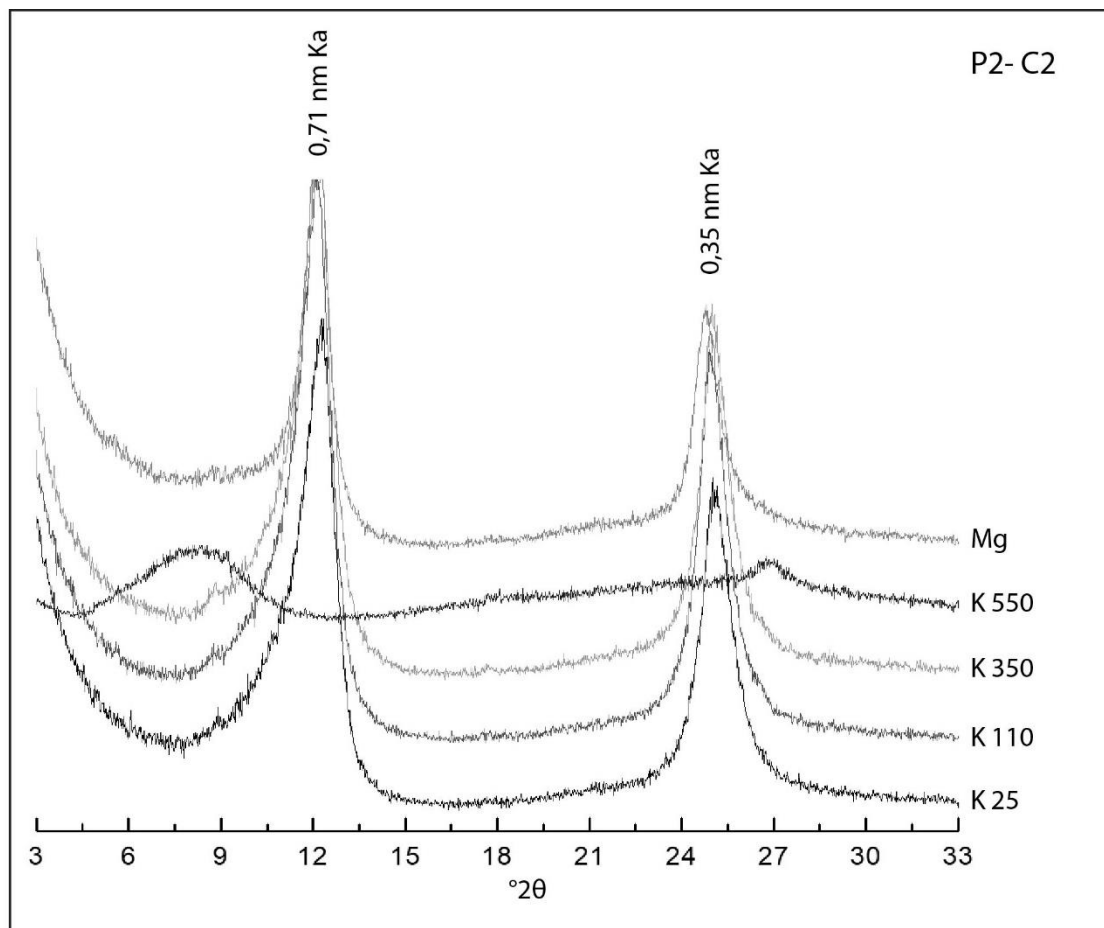
Em que: Oxa: Oxalato de amônio; DCB: Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte Ap, Perfil 2: Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. HIS: Esmectita com hidóxi entrecamadas; Il: Ilita; Ka: Caulinita.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte B/C, Perfil 2: Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Il: Ilita; Ka: Caulinita.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte 2C, Perfil 2: Argissolo Vermelho Alítico endorredóxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Ka: Caulinita.

A - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL- 3

Data- 03/02/2016

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alítico abrupto epirredóxico, A moderado, textura argilosa/franco-arenosa, fase floresta subperenifólia, relevo suave ondulado e ondulado.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Rodovia AL 105, trecho Porto Calvo - Matriz de Camaragibe, perfil localizado à margem esquerda da Rodovia AL-105, após o posto de combustível Cajá, distante 16 km do município de Japaratinga e 177 km do município de Recife-PE. Porto Calvo (AL), 09° 03' 29,4" S / 35° 25' 30,7" W/ 25 Gr.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE, COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço inferior da encosta, 12-25% de declividade.

ALTITUDE – 27 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos argilo-siltosos interlaminados com folhelhos, Cretáceo.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Maceió.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos argilo-siltosos interlaminados com folhelhos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – suave ondulado e ondulado.

EROSÃO – Laminar

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Tropical subperenifólia.

USO ATUAL – Cultivo de Cana-de-açúcar

CLIMA – As', da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Mateus Rosas Ribeiro Filho e Gerson Moreira Barros.

B – DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA

PERFIL- 3

Ap 0-18 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); francoarenosa; maça pouco coesa e fraca a moderada pequena e média; granular blocos subangulares; macio; ligeiramente duro; muito friável e friável e lig. plástica e lig. pegajosa; transição clara e ondulada (2-3 cm).

Bt1 18-34 cm, coloração variegada, úmida, composta de vermelho (2,5YR 4/6, úmida), bruno (7,5 YR 4/3 úmida) e bruno-forte (7,5 YR 5/6, úmida), argila; moderada a forte pequena e média blocos angulares e subangulares; cerosidade comum e moderada; duro a extremamente duro; firme e muito firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada (3-5 cm);

Bt2 34-75 cm, coloração variegada, composta de vermelho (2,5 YR 4/6, úmida), bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida) e bruno (10 YR 4/3, úmida); argila; moderada a forte pequena a média blocos angulares e subangulares; cerosidade comum e moderada; duro a extremamente duro; firme a muito firme; plástica e lig. pegajosa; transição clara e ondulada (2-3 cm).

C 75-117 cm, coloração variegada, composta de vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmida), bruno-forte (7,5 YR 5/8), bruno-amarelado (10 YR 5/6) e amarelo (2,5 Y 8/2); argila; moderada a forte pequena a média blocos angulares; duro e extremamente duro; firme e muito firme; plástica e lig. pegajosa; transição gradual e ondulada (5-8 cm).

C/Cr 117-200 cm, coloração variegada, úmida, composta de vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmida), bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida) e branco-rosado (2,5 Y 8/2, úmida); franco-argiloarenosa; moderada a forte pequena a média blocos angulares; ligeiramente duro a duro; firme; lig. plástica e pegajosa.

Raízes - Muitas no horizonte Ap; comuns nos horizontes Bt1 e Bt2f ?; poucas no horizonte C e Ausentes no Horizonte C/Cr.

Observações: Perfil úmido abaixo do horizonte A;

Predominância de cor + amarelada no horizonte Bt2; no 4º horizonte (C) presença de cores mais esbranquiçadas



Perfil 3: Argissolo Vermelho-Amarelo abruptico epirredoxico

Horiz. (prof.)	Areia (2000-53 μ m)	Silte (53-2 μ m)	Argila (<2 μ m)	ADA	F	Ds	Dp
	(g kg ⁻¹)				%	(g cm ⁻³)	
Perfil 03 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abruptico epirredoxico							
Ap (0-18)	753	146	101	101	0	1,64	2,84
Bt1 (18-34)	245	197	558	56	90	1,45	2,86
Bt2 (34-75)	213	245	542	54	90	1,52	2,80
C (75-117)	310	266	424	53	88	1,52	2,58
C/Cr (117-200)	531	200	269	54	80	1,41	2,72

ADA: argila dispersa em água; F: floculação; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas: - não determinado.

Horiz. (prof.)	COT ^a g kg ⁻¹	Estoque COT Mg ha ⁻¹	pH KCl	Ca ²⁺ cmol _c kg ⁻¹	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ^{3+(b)}	H+Al ³⁺	CTC ^(c)	CTC _{ef} ^(d)	At. de argila	V %	m	P mg kg ⁻¹
Perfil 03 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupático epi-redúxico															
Ap (0-18)	6,2	18,4	4,0	1,27	1,19	0,17	0,06	1,02	5,11	5,52	3,70	55	34	28	11,81
Bt1 (18-34)	6,7	15,5	3,7	1,57	4,09	0,07	0,10	8,07	11,19	18,90	12,84	34	30	63	1,95
Bt2 (34-75)	5,4	33,9	3,7	0,98	4,12	0,07	0,09	9,33	12,01	22,71	14,60	42	30	64	1,02
C (75-117)	5,0	32,2	3,6	0,26	2,06	0,10	0,19	27,74	20,06	35,70	30,29	84	11	92	1,00
C/Cr (117-200)	4,9	57,8	3,5	0,18	3,65	0,12	0,22	36,27	25,60	39,25	40,45	146	14	90	0,86

^a Carbono orgânico total.

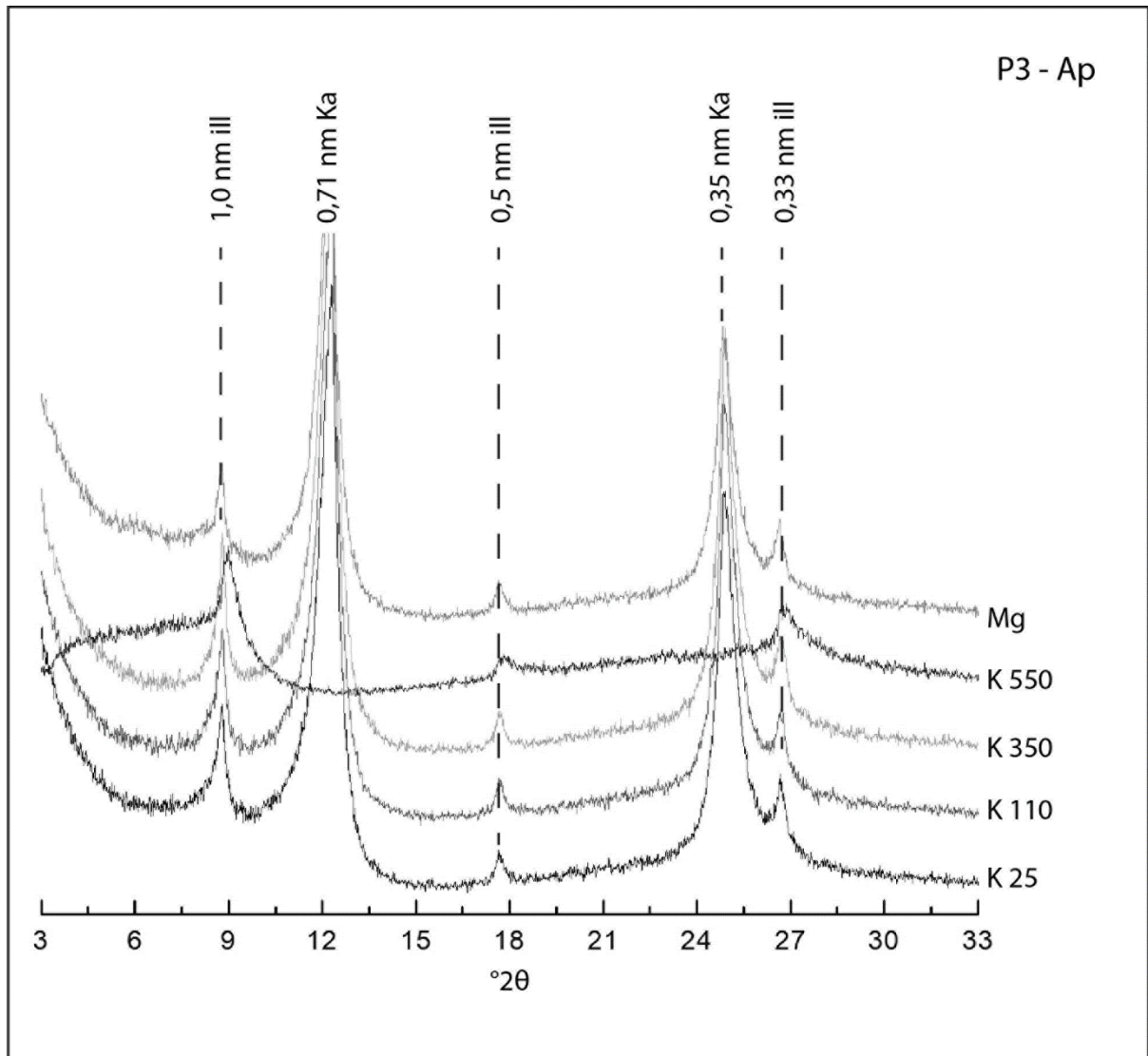
^b Al trocável extraível por solução de KCl 1 mol L⁻¹.

^c Capacidade de troca de cátions.

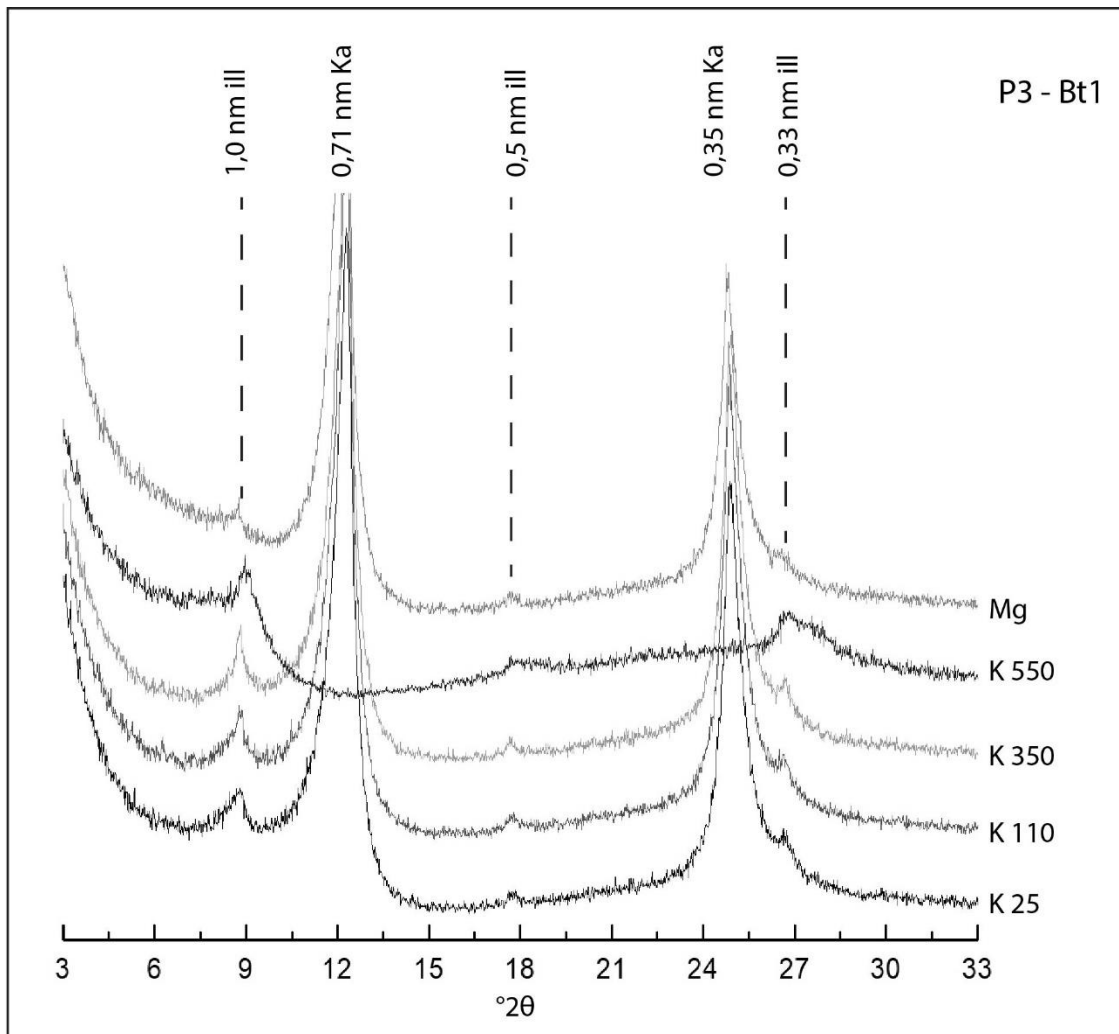
^d Capacidade de troca de cátions efetiva.

Horizonte cm	Fe oxa g kg ⁻¹	Fe _{DCB}	Fe _{oxa} /Fe _{DCB}
Perfil 03 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico abrupático epi-redúxico			
Ap (0-14)	9,12	50,95	0,18
B/C (38-63)	2,55	36,97	0,07
2C (143-200)	1,80	55,87	0,03

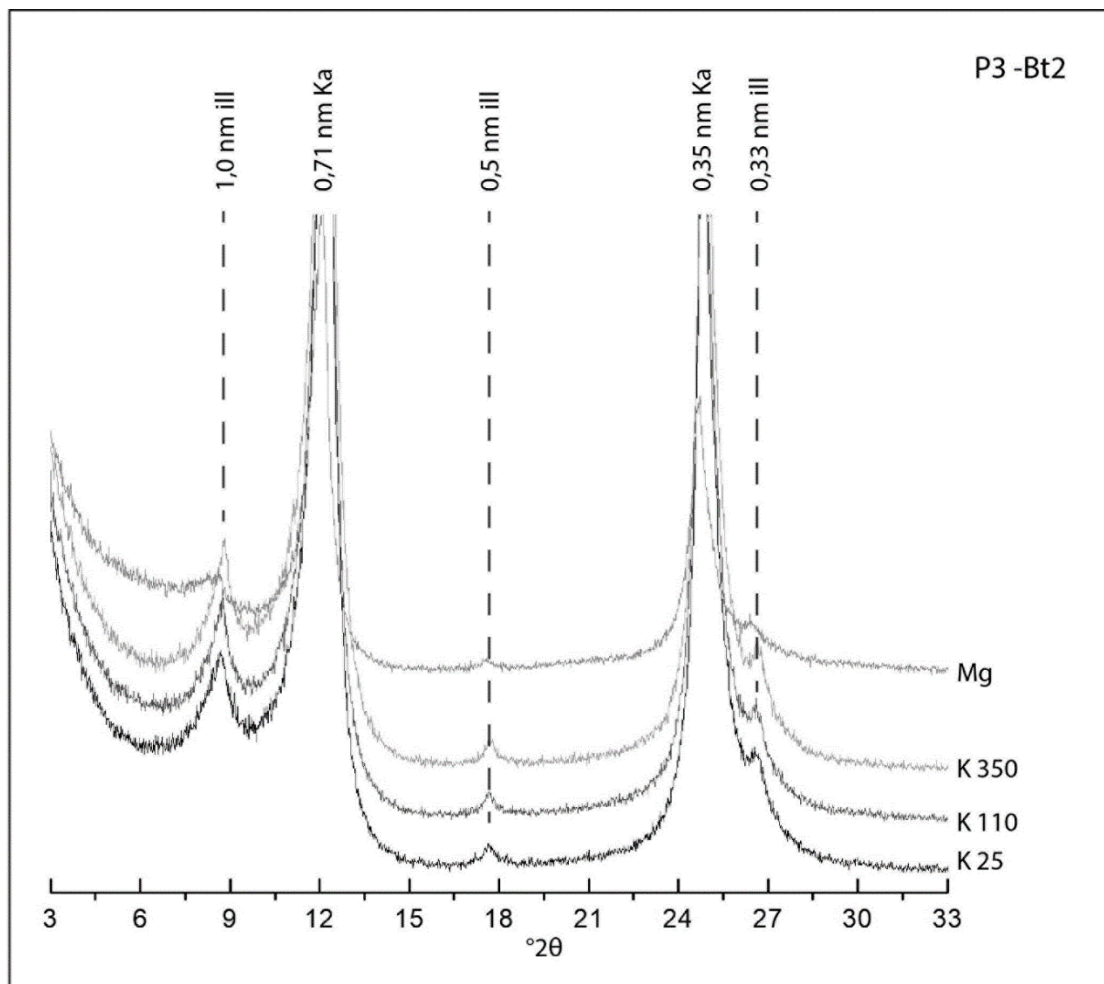
Em que: Oxa: Oxalato de amônio; DCB: Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio.



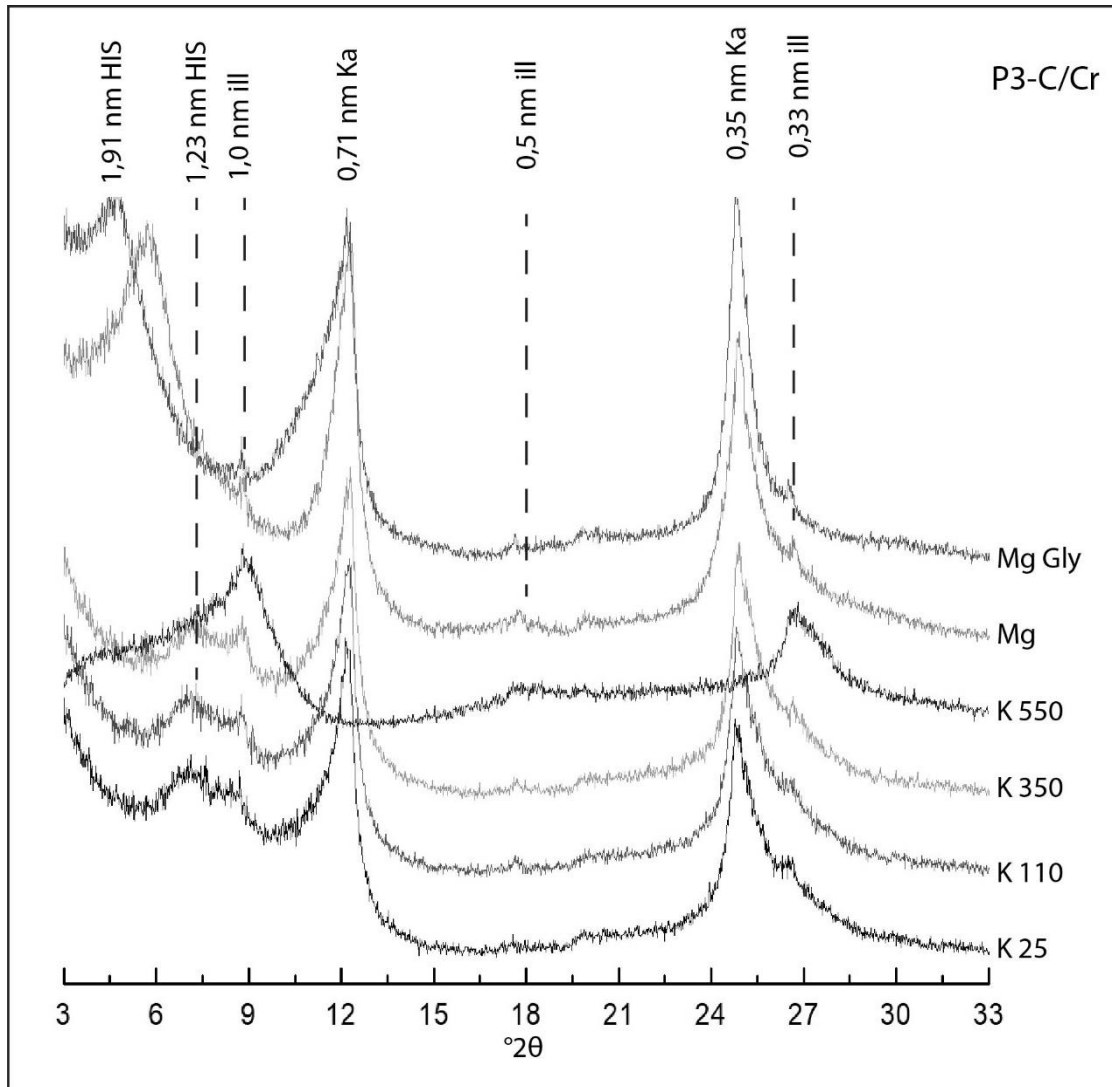
Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte Ap, Perfil 3: Argissolo Vermelho-Amerelo Alítico abrupto epirredóxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Il: Ilita; Ka: Caulinita.



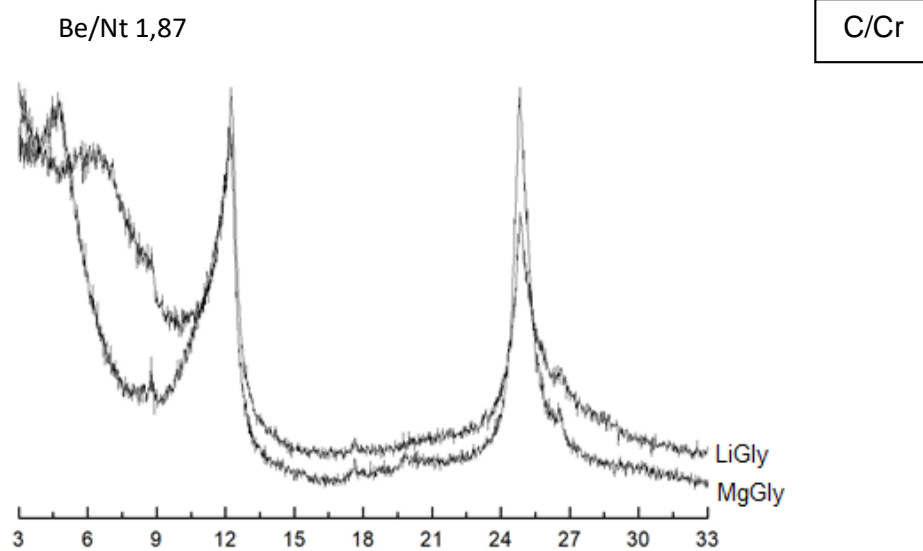
Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte Bt1, Perfil 3: Argissolo Vermelho-Amerelo Alítico abrupto epirredóxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Il: Ilita; Ka: Caulinita.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte Bt2, Perfil 3: Argissolo Vermelho-Amerelo Alítico abrupto epirredóxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Il: Ilita; Ka: Caulinita.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte C/Cr, Perfil 3: Argissolo Vermelho-Amerelo Alítico abrupto epi-redúxico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. HIS: Esmectita com hidróxi entrecamadas; II: Ilita; Ka: Caulinita.



Difratogramas após aplicação do Teste de Greene-Kelly (saturação com Lítio) no horizonte C/Cr, originado de sedimentos argilo-soltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Be: beidelita; Nt: nontronita.

A - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL- 4

Data- 03/02/2016

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupático petroplântico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Rodovia 105, trecho Porto Calvo - Matriz de Camaragibe, perfil localizado à margem esquerda da Rodovia AL-105, após o Posto de Combustível Cajá, distante 17 km do município de Japaratinga e 177 km do município de Recife-PE. Porto Calvo (AL), 09° 03'31,2" S; 35° 25' 26,8" W Gr.

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE, COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço inferior da encosta, 12-25% de declividade.

ALTITUDE – 75 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Grupo Barreiras, Terciário.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo Barreiras.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos areno-argilosos do Grupo Barreiras

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso

ROCHOSIDADE – Não rochoso

RELEVO LOCAL – Plano a suave ondulado

RELEVO REGIONAL – Plano

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Tropical subperenifólia.

USO ATUAL – Cultivo de Cana-de-açúcar

CLIMA – As', da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Mateus Rosas Ribeiro Filho e Gerson Moreira Barros.

B – DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICA

PERFIL- 4

Ap 0-16 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); areia franca; fraca e pequena blocos subangulares; solto a macio; solto a muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

AB 16-47 cm, bruno (10YR 4/3, úmida) e cinzento brunado-claro (10 YR 6/2, seca); areia franca; maçica e fraca média gulares; friável; lig. dura; não plástica e não pegajosa; transição clara e ondulada (3-6 cm);

BA 47-68 cm, bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4, úmida), mosqueado bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmida) fraca, pequena e média; blocos angulares e subangulares; franco-argiloarenosa; dura a extremamente dura; friável a firme; lig. plástica e lig. pegajosa; transição gradual e ondulada (3-6 cm).

Bt 68-132 cm, bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmida), mosqueado bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4), franco-argiloarenosa; moderada, blocos angulares e subangulares; dura a extremamente dura; firme e muito firme; plástica e pegajosa; transição clara e ondulada (10-12 cm).

Bc 132-164 cm, bruno-forte (7,5 YR 5/8, úmida), bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmida); dura a extremamente dura; transição clara e ondulada (5-7 cm).

B/C 164-210 cm, vermelho-amarelado (5 YR 5/8, úmida); argiloarenosa; fraca a média blocos angulares; duro a extremamente duro; friável a firme.

Raízes - Muitas no horizonte Ap; poucas nos horizontes AB, BA e Bt; raras nos horizontes Bc e B/C.

Observações: Perfil úmido;

O topo do horizonte AB parece predominar estrutura ligeiramente duro;

Presença de mosqueado no horizonte BA (aparente plintita);

Poucas penetrações mergulhando do horizonte AB para o horizonte BA;

Poucas penetrações mergulhando do horizonte AB para o horizonte B;

Horizonte Bc constitui de horizonte concrecionário com dimensões de médio a grande (dificuldade de observar a estrutura);

Observou-se no último horizonte pontuações esbranquiçadas, indicando presença de minerais primários.



Perfil 4: Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico petroplintico

Horiz. (prof.)	Areia (2000-53 μ m)	Silte (53-2 μ m)	Argila (<2 μ m)	ADA	F	Ds	Dp
	(g kg ⁻¹)				%	(g cm ⁻³)	
Perfil 04 - Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico petroplintico							
Ap (0-16)	874	77	50	50	0	1,74	2,70
AB (16-47)	814	86	100	150	0	-	2,72
BA (47-68)	652	97	251	251	0	1,75	2,73
Bt (68-132)	610	90	299	25	92	1,8	2,73
Bc (132-164)	574	77	350	0	100	-	-
B/C (164-210)	582	68	351	0	100	1,79	2,77

ADA: argila dispersa em água; F: floculação; ds: densidade do solo; dp: densidade de partícula; - Não determinado.

Horiz. (prof.)	COT ^a g kg ⁻¹	Estoque COT Mg ha ⁻¹	pH KCl	Ca ²⁺ cmol _c kg ⁻¹	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ^{3+(b)}	H+Al ³⁺	CTC ^(c)	CTCef ^(d)	At. de argila	V %	m	P mg kg ⁻¹
Perfil 04 - Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico petroplintico															
Ap (0-16)	5,3	14,8	4,4	0,93	1,05	0,09	0,03	0,45	2,20	3,00	2,55	60	49	17	9,04
AB (16-47)	4,6	-	4,4	0,67	0,98	0,03	0,03	0,46	1,30	2,12	2,17	21	57	21	5,65
BA (47-68)	5,0	18,2	4,1	0,55	1,30	0,02	0,04	0,78	2,86	4,21	2,68	17	40	29	1,75
Bt (68-132)	4,5	52,1	4,1	0,45	0,86	-	0,05	0,92	2,36	4,14	2,29	14	37	40	1,46
Bc (132-164)	4,8	-	4,1	0,43	0,78	-	0,05	0,99	2,12	4,02	2,25	11	37	44	1,47
B/C (164-210)	4,3	35,2	4,1	0,35	0,73	-	0,03	1,01	1,71	3,31	2,12	9	40	48	1,40

^a Carbono orgânico total.

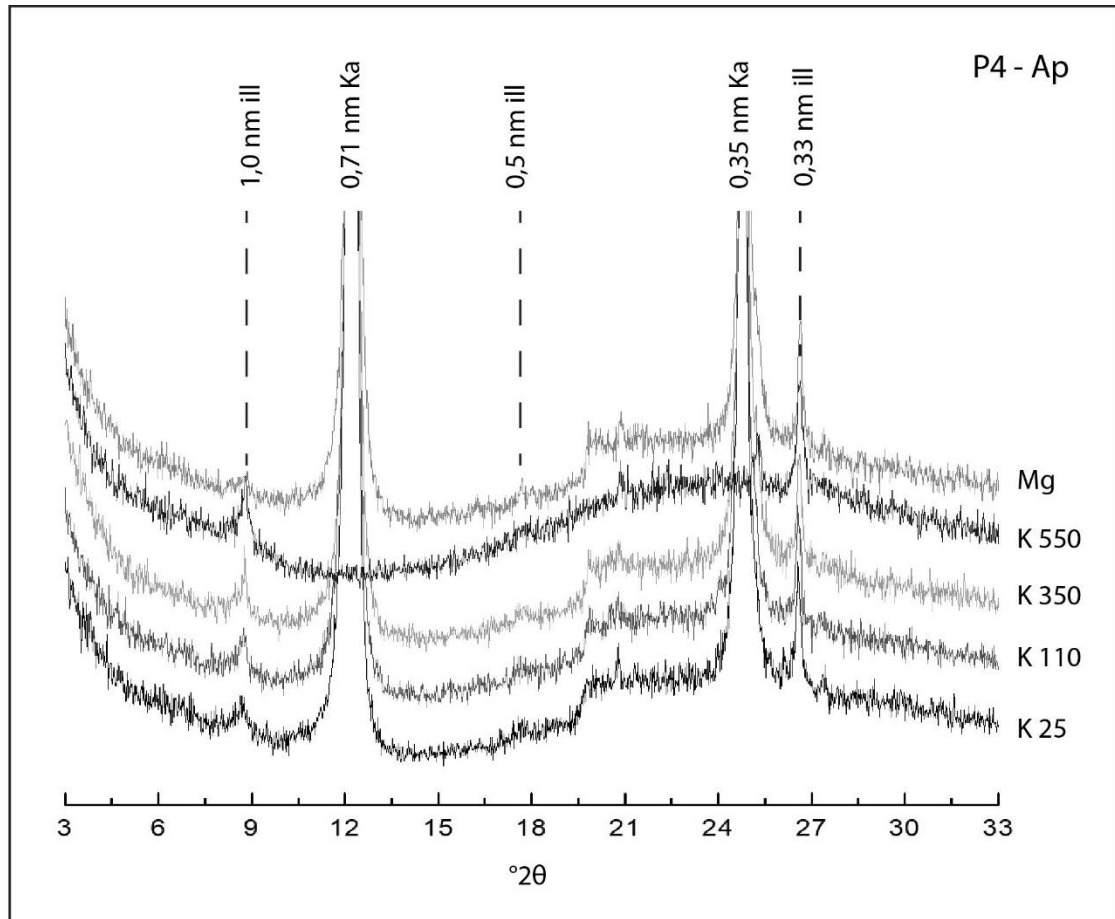
^b Al trocável extraível por solução de KCl 1 mol L⁻¹.

^c Capacidade de troca de cátions.

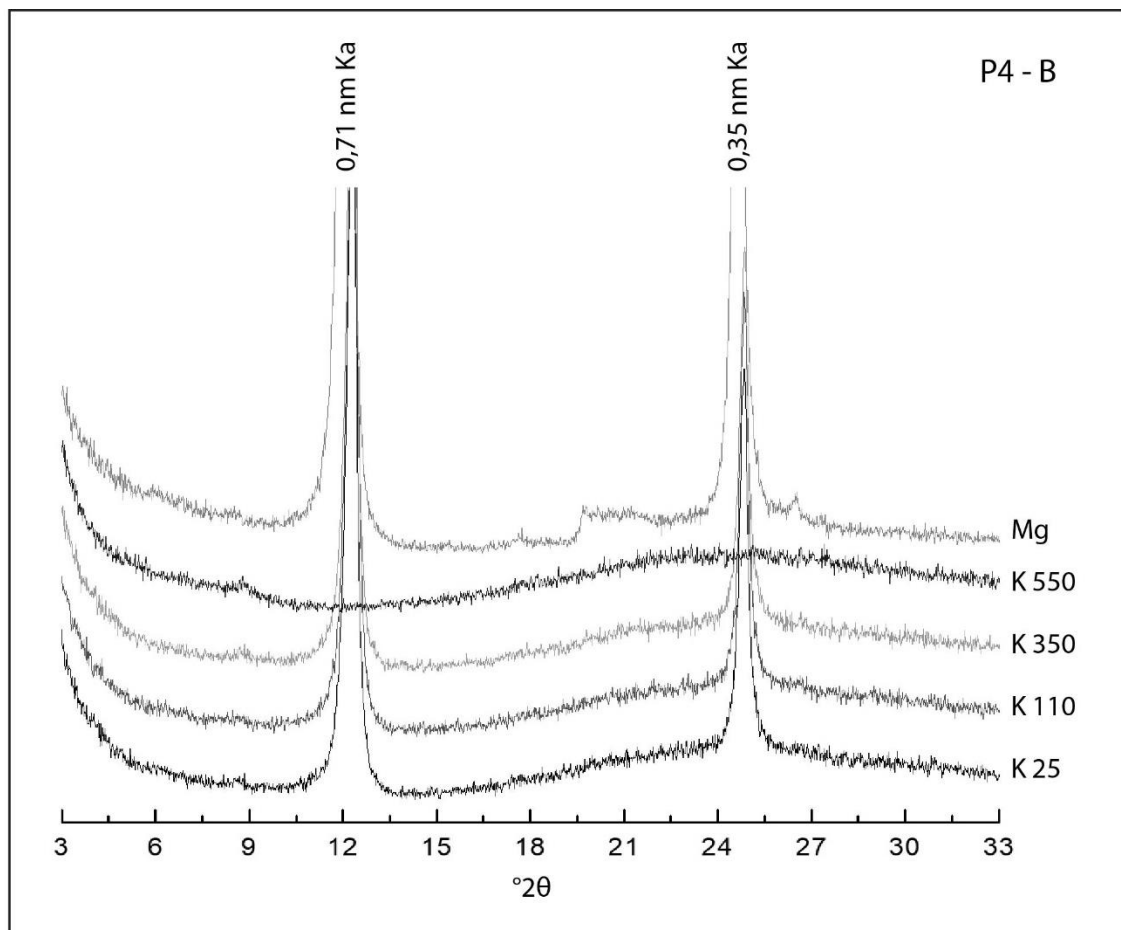
^d Capacidade de troca de cátions efetiva.

Horizonte cm	Fe oxa g kg ⁻¹	Fe _{DCB}	Fe _{oxa} /Fe _{DCB}
Perfil 04 - Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico petroplintico			
Ap (0-16)	9,12	50,95	0,18
Bt (68-132)	2,55	36,97	0,07
B/C (164-210)	1,80	55,87	0,03

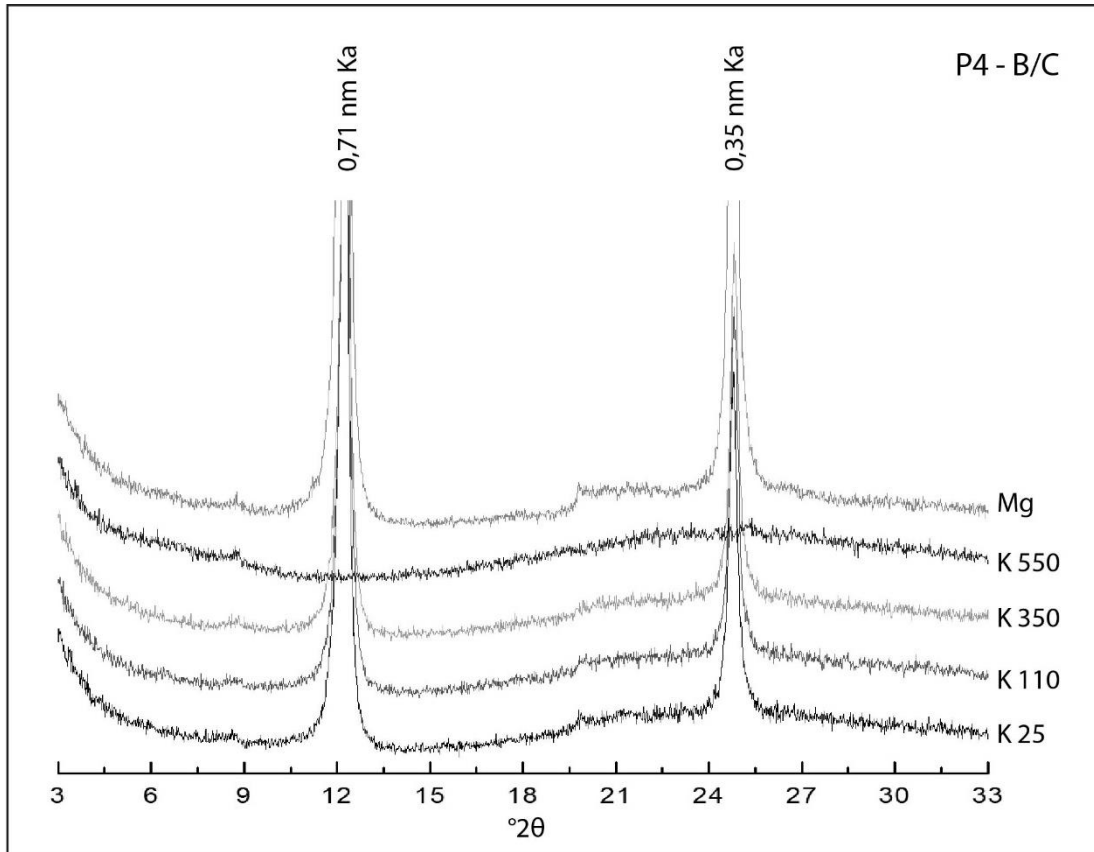
Em que: Oxa: Oxalato de amônio; DCB: Ditionito-Citrato-Bicarbonato de sódio.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte Ap, Perfil 4: Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto petroplântico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Ka: Caulinita.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte Bt, Perfil 4: Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico petroplintico, originado de sedimentos argilo-siltosos na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Ka: Caulinita.



Difratogramas de raios-X da fração argila orientada do horizonte B/C, Perfil 4: Argissolo Amarelo Distrocóeso abrupto petroplúntico, desenvolvido em ambiente sedimentar na zona úmida costeira do Estado de Alagoas, Brasil. Ka: Caulinita.