



**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES  
FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA**

**CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION OF SOILS HYDROMORPHIC ABOUT MUDSLIDES  
FLUVIO-MARINE THE MUNICIPALITY OF ARARI – MA**

Marcelino Silva Farias Filho<sup>1</sup>, Célia Regina Paes Bueno<sup>2</sup>, Gustavo Souza Valladares<sup>3</sup>

**RESUMO**

A Baixada Maranhense, microrregião influenciada pelo Golfão Maranhense, apresenta condições pedogenéticas que estão associadas aos mecanismos deposicionais fluviais e marinhos, típicos dos Aluviões Fluviomarinhos na porção central do litoral maranhense, o que permite a ocorrência dominante dos solos hidromórficos, como os Gleissolos. A intensificação do uso agrícola exige que as características diferenciadas dos solos hidromórficos sejam conhecidas e levadas em consideração por ocasião da sua utilização, visto que inúmeras famílias dependem do uso desses solos para garantia de alimento e de renda. O objetivo deste trabalho foi caracterizar e classificar os solos cultivados com arroz irrigado e utilizados com pecuária extensiva, que estão sobre material sedimentar dos Aluviões Fluviomarinhos, no município de Arari, Maranhão. Foram realizados trabalhos de campo para caracterização do ambiente e das diferentes formas de uso da terra. Foram abertas duas trincheiras em pontos distintos, uma em uma área com cultivo de arroz irrigado integrado e pecuária extensiva nos últimos seis anos e outra em área utilizada apenas com pecuária extensiva em vegetação nativa. Os solos foram analisados quanto a morfologia, granulometria (areia, silte e argila), complexo sortivo (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>), S, acidez potencial (H+Al), P assimilável, pH (água e KCl) e ataque sulfúrico (óxidos de Fe, Al e Si). Nos dois perfis, os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, como Gleissolo Melânico Alítico típico, textura muito argilosa, A proeminente. Apresentam baixo grau de desenvolvimento pedogenético, com minerais da fração argila de alta atividade associados à presença marcante de caulinita, o que os atribui elevada CTC e baixos valores para V% e diversas limitações aos usos.

**Palavras chave:** Caulinita; Pedogênese; Gleissolo Melânico Alítico típico.

**ABSTRACT**

The Baixada Maranhense, a microregion influenced by the Golfão Maranhense, presents pedogenetic conditions that are associated with the depositional fluvial and marine mechanisms, typical of the Fluviomarine alluvies in the central portion of the Maranhão coast, which allows the dominant occurrence of hydromorphic soils, such as the Gleissolos. The intensification of agricultural use requires that the different characteristics of hydromorphic soils be known and taken into account when using them, since countless families depend on the use of these soils to guarantee food and income. The objective of this work was to characterize and classify the soils cultivated with irrigated rice and used with extensive livestock, which are on sedimentary material from the fluvial and marines alluvies, in the municipality of Arari, Maranhão. Field work was carried out to characterize the environment and the different forms of land use and two trenches were opened at different points, one in an area with integrated irrigated rice cultivation and extensive livestock in the last six years and another in an area used only with livestock extensive in native vegetation. Soils were analyzed for morphology, granulometry (sand, silt and clay), assortment complex (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Al<sup>3+</sup>), S, potential acidity (H + Al), assimilable P, pH (water and KCl) and sulfuric attack (oxides of Fe, Al and Si). In both profiles, the soils were classified, according to the Brazilian Soil Classification System, as typical Allytic Melanic Gleysol, very clayey texture, A prominent. They have a low degree of pedogenetic development, with high-activity clay fraction minerals associated with the marked presence of kaolinite, which gives them high CTC and low values for V% and several limitations to uses.

**Keywords:** kaolinite; pedogenesis; Melanic Gleisol Alitic typical.

Recebido em: 29/09/2018

Aceito em: 10/12/2019

<sup>1</sup> Universidade Federal do Maranhão (UFMA). email: marcelinobrasil@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP Jaboticabal). email: crbueno@fcav.unesp.br

<sup>3</sup> Universidade Federal do Piauí (UFPI). email: valladares@ufpi.edu.br

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA****1. INTRODUÇÃO**

No Brasil, país de grande extensão territorial e diversidade natural, há ambientes pedogenéticos que permitem a ocorrência de diversos solos, dentre os quais estão os hidromórficos. Tais solos têm ocorrência e distribuição bastante ampla, ocupando extensas áreas rebaixadas e planas, mas ocorrem predominantemente nas planícies fluviais amazônicas, Pantanal Matogrossense e Baixada Maranhense. É importante ressaltar que os solos hidromórficos guardam estreita relação com a natureza dos sedimentos depositados, consequência do material de origem e dos mecanismos de deposição/sedimentação (CORINGA et al., 2012).

Devido ao seu relevo marcado por superfícies rebaixadas associadas ao regime hídrico de intensa pluviosidade, a Baixada Maranhense, microrregião influenciada pelo Golfão Maranhense (AB'SABER, 1960), apresenta condições pedogenéticas diferenciadas em relação às áreas altas. Essas condições estão associadas aos mecanismos deposicionais fluviais e marinhos, típicos dos Aluviões Fluviomarinhos na porção central do litoral maranhense, que permitem a ocorrência dominante dos solos hidromórficos como os Gleissolos.

Os solos hidromórficos vêm sendo utilizados por atividades como a pecuária extensiva e a rizicultura intensiva (ou a combinação delas) que provocam alterações em seus atributos físicos e químicos. O uso desses solos para produção rizícola resulta da sua principal característica (drenagem natural deficiente) que é resultante do relevo predominantemente plano, frequentemente associado à uma camada subsuperficial impermeável que dificulta sua utilização com agricultura diversificada e favorece o desenvolvimento da cultura do arroz irrigado por alagamento, graças à adaptação da cultura a essas condições ambientais (SILVA; RANNO, 2005).

O uso dos solos hidromórficos requer cuidado especial, pois estes quase sempre são utilizados com conteúdo de água elevado. Para autores como Braidá et al. (2010), Reichert et al.

(2010) e Mentges et al. (2012), essa condição altera o comportamento compressivo do solo em relação a solos bem drenados. Por outro lado, o alto conteúdo de água facilita a destruição dos agregados quando operações agrícolas são desenvolvidas.

As planícies fluviais inundáveis têm sido utilizadas largamente pela pecuária extensiva em todo o País por nelas ocorrerem pastagens naturais abundantes disponíveis nos períodos de déficit hídrico nas terras altas e consequente redução da forragem. Tal realidade foi e tem sido mais comum em pontos dos sertões secos, de ilhas de umidade e solos férteis (ASSIS, 2012), mas o uso desses solos vem sendo intensificado nas últimas décadas em áreas úmidas na porção noroeste da região Nordeste e em toda a região Norte em função da degradação das terras altas (FARIAS FILHO, 2013). Essa forma de uso tem promovido compactação de muitos solos, perdas intensas de sedimentos por erosão, mudanças de canais e destruição da vegetação ripária, se mostrando mais prejudicial quando comparado aos sistemas agrícolas (DIAS; THOMAZ, 2011).

Para Albuquerque et al. (2001), a compactação pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas e implementos agrícolas em áreas sob integração lavoura-pecuária, tem sido uma das principais causas da degradação da capacidade produtiva de solos agrícolas.

A Baixada Maranhense está localizada em uma zona de baixa latitude, caracterizada, segundo Gehring et al. (2013), pela combinação de altas taxas de precipitação (acima de 2000 mm por ano) e por uma distribuição bimodal destas chuvas, o que resulta em condições superúmidas com mais de nove meses úmidos (precipitação > evapotranspiração) e com pouca severidade da época seca. Assim, a Baixada apresenta um clima úmido com um período de deficiência hídrica no período entre setembro e novembro (FARIAS FILHO; FERRAZ JÚNIOR, 2009) que permitem que as planícies fluviais fiquem sob inundações por um longo período e que os atributos dos solos hidromórficos sejam particularizados em relação aqueles situados em terras altas.

## CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA

As características mineralógicas e químicas dos solos hidromórficos são em grande parte, ditadas pela natureza do material de origem e do regime de inundações periódicas, conferindo aos solos características diferenciadas, como alta saturação por sódio e, em alguns casos, por alumínio, textura variável em decorrência do tipo de sedimento depositado e riqueza em argilas expansivas (CORINGA et al., 2012).

Os solos hidromórficos da Baixada, mesmo com altos teores de alumínio e sódio, são mais férteis quimicamente quando comparados aos outros solos da Baixada situados nas áreas mais altas, fato que tem permitido o crescimento da agricultura, especialmente o cultivo de arroz irrigado e de vazante (com destaque para Arari - MA) e pecuária nas extensas planícies fluviomarinhas da região (FARIAS FILHO; FERRAZ JÚNIOR; NASCIMENTO, 2013).

A intensificação do uso exige que as características diferenciadas dos solos hidromórficos sejam conhecidas e levadas em consideração por ocasião da sua utilização. Porém, em Arari, município maranhense em que os solos vêm sendo utilizados pelo cultivo de arroz irrigado e pecuária extensiva, pouco se conhece sobre os solos, seus potenciais e limitações. Neste sentido, o presente artigo tem por objetivo caracterizar e classificar o solo em ambiente hidromórfico em uma propriedade rural situada no extremo oeste do município de Arari, MA. A propriedade foi selecionada por estar situada em área representativa do relevo regional e por abrigar as maiores áreas de cultivo de arroz em sistema irrigado do Município citado.

O conhecimento dos atributos e a classificação dos solos podem auxiliar imensamente na compreensão da distribuição e dinâmica espaciais das atividades econômicas e de como estas podem se associar à evolução da cobertura da terra e ao surgimento de problemas ambientais, fato que justifica a sua publicação em revista de Geografia.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização do meio físico

A Baixada Maranhense, microrregião na qual o município de Arari está inserido, fica localizada em uma zona de baixa latitude caracterizada por clima úmido com um período de deficiência hídrica e evapotranspiração potencial entre os meses de julho a novembro inferior a 48% em relação à precipitação (FARIAS FILHO; FERRAZ JÚNIOR, 2009).

As elevadas temperaturas e as intensas chuvas da região permitem que solos sejam imensamente intemperizados, atribuindo aos sedimentos uma granulometria predominantemente argilosa. Porém, em áreas restritas dos municípios de Arari nota-se a presença de argila 2:1, menos intemperizadas, normalmente montmorilonita oriunda de deposição marinha (GERING et al., 2013) e fluvial. Essas áreas são aquelas situadas na porção central do Município ocupadas por plantios de arroz em sistema irrigado.

O município de Arari está assentado numa área influenciada pelo Golfão Maranhense, acidente geográfico que corresponde à região de contato entre a Bacia de Barreirinhas e a Bacia de São Luís (VALLADARES, 2009). Geologicamente, a área é constituída por rochas sedimentares do Terciário. Apresenta exposição da Formação Itapecuru e da Formação Barreiras e, predominância de sedimentos do Quaternário, isto é, depósitos marinhos e fluviomarinhos do Holoceno e Pleistoceno que tornam expressiva a formação de vales afogados com presença de mangue (AB´SABER, 2004) e dos solos hidromórficos, normalmente os Gleissolos. Todos esses solos, por estarem situadas em baixas cotas altimétricas e por terem se originado após regressão marinha, apresentam constantemente depósitos de sais e sedimentos de origem marinha, com elevados teores de sódio.

A vegetação original da área é típica das várzeas amazônicas. Em meio às árvores e arbustos, ocorrem gramíneas, com dispersão e domínio atualmente favorecidos pelo desmatamento, que são utilizadas como pastagem para a criação extensiva de gado bovino

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA**

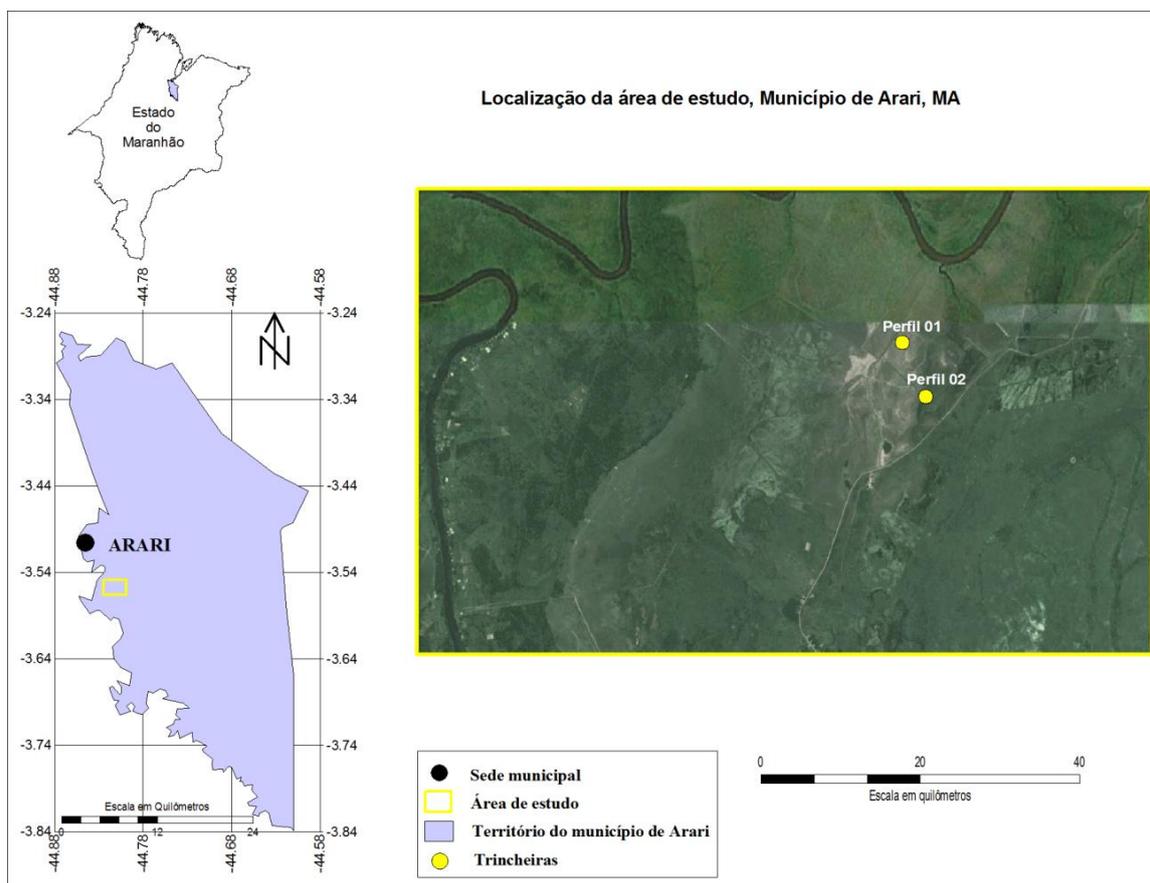
e bubalino. Na área do Perfil 02 ainda há remanescentes da vegetação nativa, com a dominância do marajá (*Bactris brongniartii*), capim marreca (*Paratheria prostrata* Greiseb.), maracujá de espoca (*Passiflora amethystina* J. C. Mikan). A gramínea mencionada é a base para a utilização da área em questão na pecuária extensiva.

Os Aluviões Fluviomarinhos, formação onde se localizada a área de estudo, é caracterizada principalmente por sedimentos argilosos a muito argilosos que têm sua origem associada ao máximo da última transgressão marinha ocorrida na região e a posterior decantação de sedimentos quando o mar se retirou dos vales da antiga rede hidrográfica após

regressões marinhas que se desenvolveram no Quaternário antigo (MOURA, 2004).

**2.2. Localização da área de estudo**

Foram analisados e descritos dois perfis em trincheiras escavadas nas planícies do rio Mearim, em relevo plano, localizados nas coordenadas 2°58'03" S e 44°49'14" W.Gr. (Perfil 01) e 2°58'10" S e 44°49'22" W.Gr. (Perfil 02), no extremo oeste do município de Arari, Estado do Maranhão (Figura 1). A área do Perfil 01 tem sido utilizada com cultivo de arroz irrigado integrado a pecuária extensiva nos últimos seis anos enquanto que a área do Perfil 02 tem sido utilizada apenas com pecuária extensiva em vegetação nativa.



**Figura 1 - Localização da área de estudo no município de Arari – MA: perfis 01 e 02**

A descrição dos perfis foi realizada no mês de julho, período em que o déficit hídrico começa a se acentuar nas extensas planícies fluviais locais e que é coincidente com uso da soca

do arroz de sequeiro (Perfil 01) e das pastagens naturais para a pecuária extensiva (Perfil 02).

## CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA

### 2.3. Análises de rotina para fins de levantamento de solo

A pesquisa constou de realização de revisão de literatura e trabalho de campo, com registro fotográfico, escavação de trincheira em dois pontos representativos da área de estudo e, posterior descrição morfológica dos solos, com coleta de amostra para posterior análise física e química, em laboratório.

A descrição e classificação dos solos foi realizada de acordo com os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018) e procedimentos descritos no Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015). Amostras deformadas foram coletadas, em cada horizonte, para realização das análises físicas e químicas.

As análises físicas e químicas foram realizadas, de acordo com Embrapa (1997) e Camargo et al. (2009), em amostras secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA). As análises realizadas foram: granulometria, pH em H<sub>2</sub>O e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, P, C orgânico e acidez potencial (H+Al), além dos teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

A argila foi determinada pelo método da pipeta, utilizando-se como dispersante químico na solução NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. A areia foi determinada por tamisagem e o silte, subtraindo-se do total da alíquota as massas de argila e areia (Embrapa 1997).

O carbono orgânico (C) foi determinado por oxidação com dicromato de potássio. Os cátions Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foram extraídos com solução KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. A extração do H+Al foi realizada com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0. Os elementos Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> foram extraídos com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>. Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram determinados por espectroscopia de absorção atômica; K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> por fotometria de chama; Al<sup>3+</sup> e H por titulometria. Os elementos Si e Al foram determinados por colorimetria e o Fe, por espectrofotometria de absorção atômica.

Os teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foram obtidos por ataque sulfúrico, conforme proposição de Raij e Valadares (1974). Foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca de cátions (T), a porcentagem de saturação por bases (V) e por Al<sup>3+</sup> (m), e as

relações moleculares Ki ( $1,70 \times \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ ) e Kr ( $(\text{SiO}_2 / 0,6) / (\text{Al}_2\text{O}_3 / 1,02) + (\text{Fe}_2\text{O}_3 / 1,6)$ ).

A análise mineralógica da fração argila foi realizada em amostras orientadas e em pó, pela difração de raios-X. Os difratogramas foram obtidos no intervalo de 3 a 67°θ.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Análises de rotina para fins de levantamento de solo

Os solos dos dois perfis foram classificados como Gleissolos. Pela posição topográfica mais baixa e de restritas condições de drenagem ao longo dos perfis aparecem cores de redução. Os horizontes glei identificados possuem espessura além da mínima estabelecida no SiBCS que é 15 cm, menos que 15% de plintita e estão sujeitos ao hidromorfismo pela saturação com água por influência do lençol freático durante grande parte do ano (SANTOS et al., 2018).

No segundo nível categórico, os solos dos dois perfis foram classificados como melânicos, pois apresentam horizontes A proeminente, requisito estabelecido pelo SiBCS (SANTOS et al., 2018). Ou seja, apresentaram saturação por bases (V%) inferior a 65%, possuem croma igual inferior a 3 quando úmido, conteúdo de C orgânico maior que 6 g.kg<sup>-1</sup> de solo em todo o horizonte e possuem mais de 25 cm de espessura.

Os solos dos pedoambientes estudados apresentaram caráter alítico, que influenciou a classificação no terceiro nível, devido aos altos teores de alumínio trocável (maior que 4 cmolc.kg<sup>-1</sup>), atividade da fração argila elevada (> 20 cmolc.kg<sup>-1</sup>) e saturação por bases inferior a 50%, conforme estabelece o SiBCS. Esta característica está relacionada com parte do material de origem de natureza aluvial, proveniente do rio Mearim e afluentes, que transportam sedimentos com estas características. Por outro lado, foi detectada a presença de argila de alta atividade, fato que está relacionado à deposição de sedimentos de origem marinha (GERING et al., 2013).

A textura e estrutura dos solos, associadas à presença e expansão de argila 2:1, permitem o aparecimento de superfícies de

## CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA

compressão (slickensides) após a abertura de trincheira, como fora detectado nos dois perfis analisados. Essa característica tem induzido pesquisadores a classificarem os solos locais como Vertissolos, ainda que estes apresentem saturação por base inferior a 50 (%), que é o critério chave para enquadramento dos solos nesta classe, segundo Santos et al. (2018).

### 3.2. Caracterização Morfológica

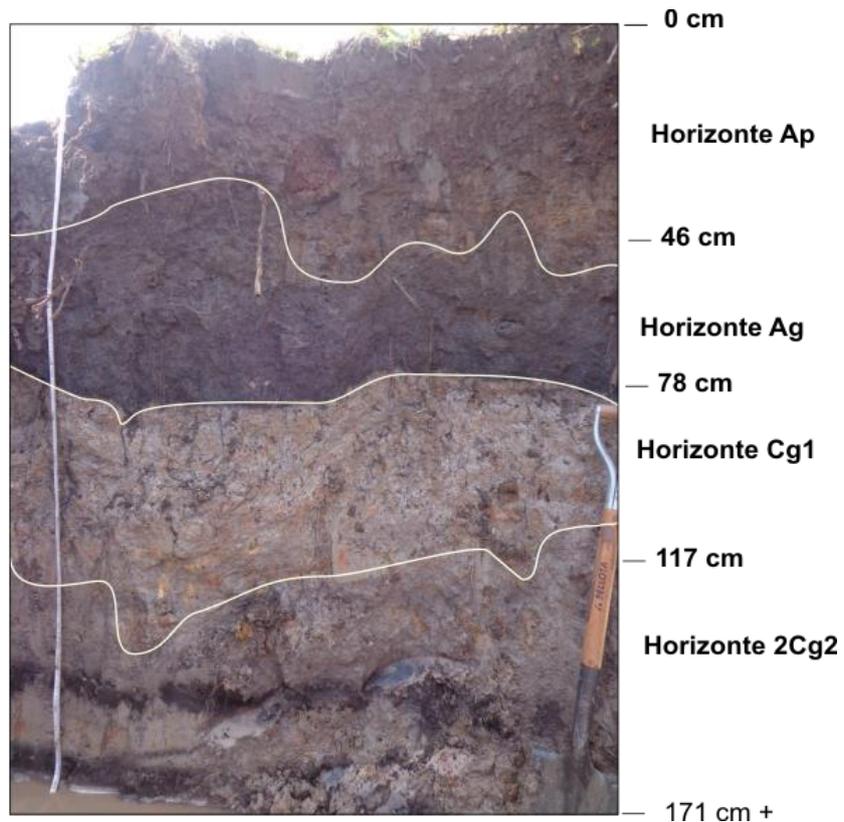
Os dois perfis analisados estão assentados em área de planície fluvial (várzea), em relevo local plano. A geomorfologia local, associada às características climáticas, sujeita esses solos a um alagamento prolongado que é favorecido pela baixa permeabilidade destes devido a sua textura, normalmente argilosa ou muito argilosa. O lento escoamento das águas possibilita o acúmulo de material orgânico e fertilidade química maior que favorecem as principais e mais importantes atividades humanas desenvolvidas localmente (pecuária e agricultura). Conforme Mentges et al. (2012), solos de terras baixas, também chamadas de várzeas, em razão da drenagem deficiente, naturalmente apresentam saturação por água ou alagamentos periódicos, sendo, por isso, sujeitos ao hidromorfismo.

O ambiente pedogenético associado aos mecanismos deposicionais fluviomarinhos atribuíram a sequência de horizontes Ap, Cg1, Cg2 e 2Cg3 no Perfil 01 (Figura 2) e A, Cg1 e Cg2 no Perfil 02 (Figura 3). Além da sequência de horizontes apresentada no Perfil 01, há a presença de camadas de acumulação de matéria orgânica no horizonte 2Cg3, provavelmente devido aos ciclos de regressão marinha e formação de ambiente pedogenético de acúmulo de matéria orgânica, gerando descontinuidade no horizonte mineral. A transição entre horizontes nos dois perfis é ondulada.

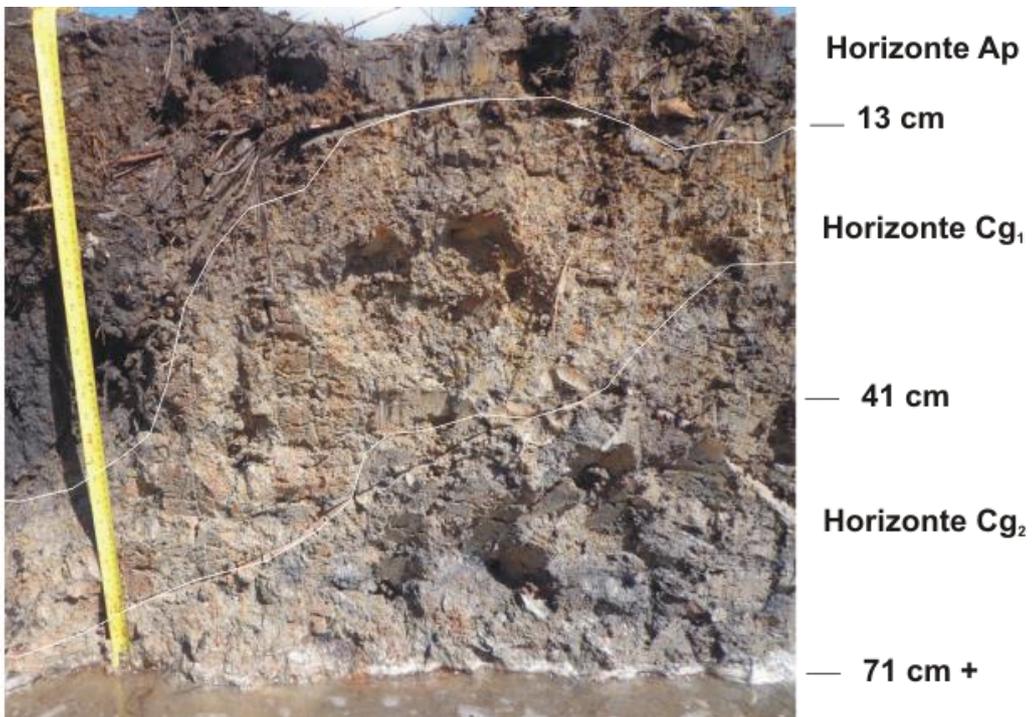
Nos dois perfis predominaram solos com cores de cromas baixos (Quadro 01), indicando influências do lençol freático elevado e condições redutoras, típicas de pedoambientes hidromórficos. Para Coringa et al. (2012), as características morfológicas destes solos advêm,

principalmente, dos processos de redução e oxidação do ferro e manganês, que ainda lhes conferem cores distintas que caracterizam a gleização. O referido processo também está relacionado ao acúmulo de matéria orgânica devido à menor eficiência dos microrganismos anaeróbicos na mineralização da matéria orgânica quando comparados aos organismos aeróbicos.

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA**



**Figura 2** - Perfil 01: Gleissolo Melânico: região com cultivo de arroz irrigado integrado a pecuária extensiva nos últimos seis anos.



**Figura 3** - Perfil 02: Gleissolo Melânico: região com pecuária extensiva em vegetação nativa.

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES  
FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA**

Horiz.	Prof. (cm)	Esp. (cm)	Cor Munsell		Textura	Estrutura	Consistência (molhada)
			Matriz Úmida)	Mosqueado (úmida)			
<i>Perfil 01– Gleissolo Melânico Alítico típico</i>							
Ap	0-46	33-55	Cinzeno esverdeado claro (5GY 2,5/3)	7,5 YR 6/3, comum, difuso	Argilosa	Fraca, pequena, blocos angulares	Muito firme, plástica, pegajosa
Ag	47-78	25-48	Cinzeno esverdeado (10Y 4/3)	-	Muito argilosa	Fraca, pequena, blocos angulares	Muito firme, muito plástica muito pegajosa
Cg <sub>1</sub>	79-117	40-59	Bruno claro (7,5 YR 6/3)	7,5YR 5/6 comum, difuso	Muito argilosa	Maciça	Extremamente firme, muito plástica muito pegajosa
2Cg <sub>2</sub>	118-151+	53+	Bruno claro (7,5 YR 6/3)	7,5YR 5/6 pouco, distinto	Muito argilosa	Maciça	Extremamente firme, muito plástica muito pegajosa
<i>Perfil 02– Gleissolo Melânico Alítico típico</i>							
A	0-13	-52	Cinzeno esverdeado (5GY 2,5/3)	7,5YR 5/6 pouco, difuso	Muito argilosa	Fraca pequena, blocos angulares e subangulares	Muito firme, muito plástica muito pegajosa
Cg <sub>1</sub>	14-41	5-31	Bruno claro (7,5 YR 6/3)	10YR 5/6, comum, difuso	Muito argilosa	Maciça	Extremamente firme, muito plástica muito pegajosa
Cg <sub>2</sub>	42-71+	3+	Bruno claro (7,5 YR 6/3)	10YR 5/6, pouco, difuso	Muito argilosa	Maciça	Extremamente firme, muito plástica muito pegajosa

**Quadro 01** - Atributos morfológicos dos solos em dois perfis no município de Arari - MA

A cor bruno-claro (7,5 YR 6/3) predominou nos horizontes Cg1 e 2Cg2 do Perfil 01 e Ag e Cg1 do Perfil 02, com presença de mosqueados variando de pouco a comum, mas também ocorreram cores escuras de croma baixo (cinzeno-esverdeado nos horizontes A dos dois perfis e cinzeno esverdeado no horizonte Ag do Perfil 01) o que configura atributo diagnóstico para os Gleissolos.

Nos dois perfis a textura muito argilosa foi predominante, o que é comum em área de deposição fluvial em canais senis (meândricos) como é o caso do rio Mearim no seu baixo curso. A deposição de sedimentos muito finos na área de estudo também tem relação com o refluxo das águas do rio mencionado no período das águas em função do avanço das marés, caracterizando deposição fluvio-marinha.

Apesar dos solos terem textura muito argilosa predominante nos dois perfis, a permanente influência hidromórfica e pedogênese lenta reduzem a estruturação nos solos, sendo prevalente a estrutura maciça. Tais características permitem que os solos tenham consistência extremamente firme a muito firme quando úmidos e muito plástica e muito pegajosa quando molhados nos dois perfis (Quadro 01). Estes resultados condizem com aqueles obtidos por Campos et al. (2013) ao analisarem solos hidromórficos na região de Humaitá, Estado do Amazonas.

### 3.3. Caracterização Física

A fração granulométrica dominante foi argila em todos os perfis, fato que influenciou os graus de floculação e de dispersão dos solos. O grau de

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES  
FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA**

floculação (GF) variou de 74 a 98% nos horizontes B (Tabela 1).

Os valores elevados do grau de floculação em todos os horizontes dos perfis analisados estão relacionados aos elevados conteúdos de Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>,

Ca<sup>2+</sup> e/ou Mg<sup>2+</sup>, os quais são fortemente adsorvidos pelas micelas do solo, reduzindo, desta forma, a eletronegatividade e criando condições ao desenvolvimento de forças atrativas entre as partículas (Martins, 1993).

Horizonte	Granulometria			ADA <sup>(1)</sup>	GF <sup>(2)</sup>	GD <sup>(3)</sup>
	Areia	Silte	Argila			
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				-----%-----	
<i>Perfil 01– Gleissolo Melânico Alítico típico</i>						
Ap	72	375	553	142	74	26
Ag	15	335	650	92	86	14
Cg <sub>1</sub>	23	267	720	12	98	2
2Cg <sub>2</sub>	40	345	615	62	90	10
<i>Perfil 02– Gleissolo Melânico Alítico típico</i>						
Ap	22	352	626	16	97	3
Cg <sub>1</sub>	14	336	650	41	94	6
Cg <sub>2</sub>	18	302	690	15	98	2

<sup>(1)</sup> Argila dispersa em água; <sup>(2)</sup> Grau de floculação  $[(\text{argila total} - \text{ADA})/\text{argila total}] * 100$ ; <sup>(3)</sup> Grau de dispersão (100%-GF)

**Tabela 1** - Atributos físicos dos solos analisados em dois perfis, município de Arari – MA

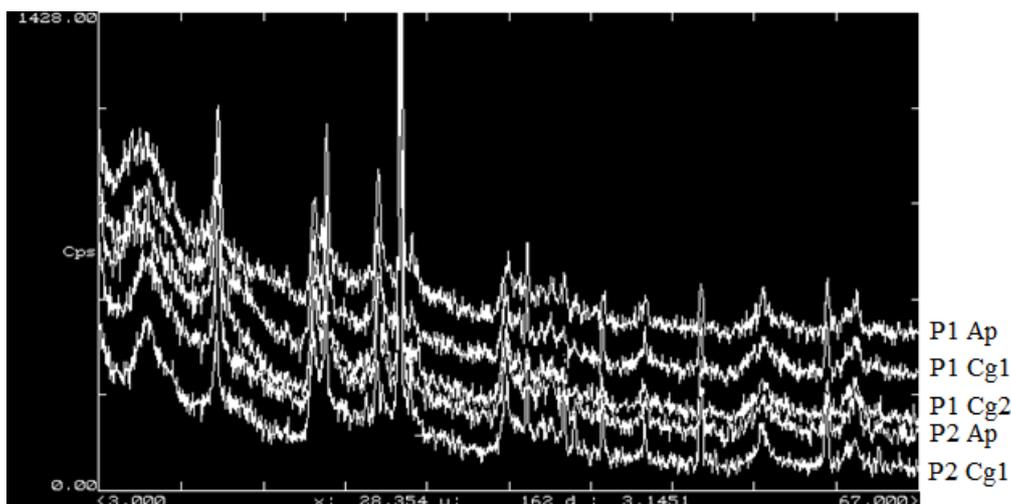
Esse comportamento também foi detectado por Anjos et al. (2007), ao avaliarem solos da Baixada Maranhense, mesma região em que a área de estudo está localizada. Coringa et al. (2013) evidenciam que valores elevados no GF também indicam o efeito dos argilominerais 2:1 no aumento das cargas negativas do solo, ratificando as informações de Gehring et al. (2013) e Moura (2004) de que os solos da área analisada apresentam argila expansiva, normalmente montmorilonita.

#### 3.4. Caracterização Mineralógica e Química

A partir de difratogramas de raios-X da fração argila (Figura 4), foram identificados os seguintes minerais como sendo os predominantes: montmorilonita, caulinita e quartzo. Todos os horizontes dos dois perfis estudados tiveram mineralogia semelhante, indicando condições geoquímicas similares durante a pedogênese (PRADA-GAMERO et al., 2004).

Picos largos no intervalo de 1,77 a 0,98 nm indicam a presença de montmorilonita, picos estreitos em 0,7 e 0,35 nm indicam a caulinita bem cristalizada e picos também estreitos a 0,43 e 0,33 indicam quartzo também bem cristalizados.

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA**



**Figura 4** - Mineralogia por difração de raio-X dos solos em dois perfis no município de Arari – MA

Os valores de pH (Tabela 2) mostram que esses solos apresentam reação fortemente ácida (pH entre 3,7 e 4,2) ao longo dos perfis, o que indica que são intemperizados e de mesmo material de origem em todos os horizontes. Por

outro lado, valores baixos de pH em solos hidromórficos podem estar associados a problemas à determinação desse atributo em KCl (GAMA; KIEHL, 1999).

Horizonte	pH		ΔpH	C g kg <sup>-1</sup>	p mg kg <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	S	T	Ta/Tb	V	m
	KCl	H <sub>2</sub> O														
<i>Perfil 01– Gleissolo Melânico Alítico típico</i>																
Ap	4,2	4,8	-0,6	18	12	1,5	4,5	2,0	0,2	2,2	13,8	8,2	24,4	4,4	34	22
Ag	3,5	4,2	-0,7	18	8	2,5	3,1	1,9	0,1	4,8	31,0	7,6	43,4	6,6	17	39
Cg <sub>1</sub>	3,7	4,3	-0,6	14	9	3,1	2,9	1,9	0,1	7,6	28,6	8,0	44,2	6,1	18	49
2Cg <sub>2</sub>	3,7	4,2	-0,5	10	9	3,1	5,9	2,2	0,1	6,7	28,7	10,3	43,6	7,1	24	39
<i>Perfil 02– Gleissolo Melânico Alítico típico</i>																
Ap	3,8	4,3	-0,5	21	24	2,5	3,1	2,1	0,3	6,3	32,6	8,0	46,9	7,5	17	44
Cg <sub>1</sub>	3,8	4,5	-0,7	15	9	2,5	5,2	2,5	0,2	6,3	18,3	10,4	35,0	5,4	30	37
Cg <sub>2</sub>	3,7	4,5	-0,8	12	9	2,6	5,0	2,6	0,2	6,2	25,4	10,4	42,0	6,1	25	37

S - Soma de bases = Mg<sup>2+</sup>+Ca<sup>2+</sup>+Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>; T – capacidade de troca catiônica a pH 7; Ta/Tb - Atividade da fração argila = CTC X 100/ argila (g kg<sup>-1</sup>); V% - Saturação por bases = 100 x S/T; m% - Saturação por alumínio = 100 x Al<sup>3+</sup>/T.

**Tabela 2** - Atributos químicos dos dois perfis analisados em Arari - MA

Os elevados valores de Al<sup>3+</sup> atribuem aos solos elevada saturação por alumínio (superior a 37 %) e baixa saturação por bases (inferior a 50%), permitindo classificá-los como alíticos.

O maior valor de pH no horizonte A do Perfil 01 coincidente com teores maiores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e menores de Al<sup>3+</sup> e de H<sup>+</sup> está relacionado às operações de calagem em função

dos sucessivos anos de cultivo de arroz irrigado. Porém, o elevado tamponamento dos solos de Arari decorrente do acúmulo de matéria orgânica e elevados teores Al<sup>3+</sup> impendem que o pH atinja e se mantenha com valores próximos dos ideais para disponibilização de macronutrientes (SILVA; MOURA, 2004).

## CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA

Nos dois perfis, foi detectada a presença de elevados teores de alumínio extraível e, do mesmo modo teores de cálcio e magnésio, fato resultante do material de origem local que é rico em montmorilonita (Figura 4), conforme Gehring et al. (2013). A presença desses argilominerais nos dois perfis pode ser inferida também pelos elevados valores negativos para  $\Delta pH$ , que para Martins (1993), quando associadas a altos níveis de alumínio, são indicativos seguros de solos ricos em minerais onde predominam cargas permanentes, uma vez que solos ricos em montmorilonita liberam grandes quantidades de alumínio por hidrólise (devido à sua instabilidade em solos de reação ácida) e, ao mesmo tempo, cálcio e magnésio.

Apesar da acidez ser elevada nos solos locais, os teores de cálcio na solução do solo poderiam mitigar a toxicidade do alumínio, o que poderia não resultar em danos às plantas cultivadas, conforme observações feitas por Gama e Kiehl (1999) ao avaliarem culturas desenvolvidas em solos semelhantes no estado do Acre que não manifestaram sérios sintomas de toxicidade por alumínio. Porém, os elevados conteúdos de alumínio extraível nos perfis, restringem a utilização de tais solos para a agricultura, sendo necessária a adequada adição de corretivos.

Os teores de C org e P foram elevados nos dois perfis (Tabela 02), sendo mais acentuado nos horizontes superficiais, o que denota uma importante contribuição da matéria orgânica. O Perfil 02 teve teores maiores dos dois nutrientes, fato que pode ser explicado pela adição de matéria orgânica pela vegetação arbustiva mediante decomposição de raízes em níveis mais elevados e em maior profundidade.

Por terem sedimentos de origem fluviomarina (GEHRING et al., 2013; VALLADARES, 2009), os teores de sódio dos dois perfis foram elevados, o que poderia inclusive atribuir aos solos dos dois perfis caráter solódico, tendo em vista que a saturação por este íon é superior a 6%, conforme preconiza o SiBCS (Santos et al. 2013). É importante ressaltar que no Perfil 01, os teores de sódio são baixos na superfície (1,5 cmolc kg<sup>-1</sup> no horizonte A) e aumentam com a

profundidade (2,5 no horizonte Ag e 3,1 cmolc kg<sup>-1</sup> nos horizontes Cg1 e 2Cg2) e no Perfil 02, os teores se mantêm praticamente iguais em todos os horizontes.

O comportamento do sódio no Perfil 01 pode ter relação com o sistema de manejo da área (irrigação por inundação) com o uso de água de baixa qualidade do rio Mearim que tem elevada salinidade no local (POMPÉO et al., 2002) que induz a translocação do íon para os horizontes situados em maior profundidade, devendo ser este mecanismo a ser observado com atenção, tendo em visto que a salinização pode comprometer o uso agrícola e outras funções dos solos (FIGUERÊDO; CALASANS, 2008).

Os solos analisados apresentaram elevados valores para soma de bases (S) e capacidade de troca catiônica (T), valores semelhantes aos detectados por Anjos et al. (2007), Valladares (2009) e Gering et al. (2013) ao avaliarem solos da Baixada Maranhense. Os valores de S seguiram uma tendência de crescimento da superfície (horizontes A dos dois perfis) para o interior, indicando uma influência do material de origem na liberação de cátions trocáveis. Dentre os cátions trocáveis, aqueles que mais contribuíram para o incremento da soma de base destacam-se cálcio e sódio. Já os valores de potássio foram baixos em todos os horizontes, fato que pode comprometer o principal uso agrícola da área (arroz irrigado), já que a rizicultura demanda muito por este nutriente (CAVALCANTE et al., 2007).

Nos dois perfis os índices Ki variaram entre 2,0 e 2,26 e Kr entre 1,32 e 1,78 (Tabela 3).

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES  
FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA**

Horizonte	Profundidade cm	Ataque sulfúrico			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /	Ki <sup>(1)</sup>	Kr <sup>(2)</sup>
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
		-----%			-	-	-
<i>Perfil 01– Gleissolo Melânico Alítico típico</i>							
<u>Ap</u>	0-23	26,6	20,0	8,5	2,3	2,3	1,8
Ag	25-74	28,1	23,5	7,3	3,2	2,0	1,7
Cg <sub>1</sub>	75-93	15,3	12,0	9,7	1,2	2,2	1,4
2Cg <sub>2</sub>	93+	18,9	16,0	5,3	3,0	2,0	1,6
<i>Perfil 02– Gleissolo Melânico Alítico típico</i>							
<u>Ap</u>	0-11	11,8	10,0	5,6	1,8	2,0	1,5
Cg <sub>1</sub>	11-43	8,3	7,0	5,7	1,2	2,0	1,3
Cg <sub>2</sub>	43+	10,1	8,0	6,0	1,3	2,1	1,4

<sup>(1)</sup>  $1,70 \times \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$  <sup>(2)</sup>  $(\text{SiO}_2 / 0,6) / (\text{Al}_2\text{O}_3 / 1,02) + (\text{Fe}_2\text{O}_3 / 1,6)$

**Tabela 3** - Óxidos totais nos horizontes dos dois perfis analisados em Arari - MA

#### 4. CONCLUSÕES

- Os solos dos dois perfis foram classificados como Gleissolo Melânico Alítico típico, textura muito argilosa, A proeminente;

- Nos dois perfis a fração argila apresentou alta atividade, indicando presença de argila 2:1 e justificando os elevados valores para CTC;

- Os valores elevados do grau de floculação em todos os horizontes dos perfis analisados estão relacionados aos elevados conteúdos de Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e/ou Mg<sup>2+</sup>, criando condições ao desenvolvimento de forças atrativas entre as partículas;

- A presença de elevados teores de alumínio extraível e, do mesmo modo teores de cálcio e magnésio, fato resultante do material de origem local que é rico em montmorilonita;

- Nos dois perfis os índices Ki variaram entre 2,0 e 2,26 e Kr entre 1,32 e 1,78, caracterizando os solos como cauliniticos.

#### 5. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Contribuição a Geomorfologia do Estado do Maranhão. Notícias **Geomorfológicas**, Campinas, v. 3, n.5, 1960.

AB'SABER, A. N. Geomorfologia do Corredor Carajás - São Luís. In: **Amazônia: do discurso à práxis**. 2 ed. São Paulo: EDUSP, 2004.

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

CAMARGO, O. A de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas** (Boletim Técnico 106). Campinas, SP: IAC, 2009.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. da C. Toposequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, vol. 42, n.3, p. 387 - 398, 2012.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T.. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa – MG, v. 31, p. 1329-1339, 2007.

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES  
FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA**

- CORINGA, E. de A. O.; COUTO, E. G.; PEREZ, X. L. O.; TORRADO, P. V. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. **Acta Amazônica**, v. 42, n.1, p. 19 - 28, 2012.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 1997.
- FARIAS FILHO, M. S.; FERRAZ JÚNIOR, A. S. de L. A cultura do arroz em sistema de vazante na Baixada Maranhense, periferia do sudeste da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 82-91, 2009.
- FARIAS FILHO, M. S.; FERRAZ JÚNIOR, A. S. de L.; NASCIMENTO, M. de P. Uso agrícola dos campos inundáveis da Baixada Maranhense com a cultura do arroz frente à degradação das áreas altas. In: FARIAS FILHO, M. S (org.). **O Espaço Geográfico da Baixada Maranhense**. 2ª. Ed. São Luís, MA: EDUFMA, 2013.
- FIGUERÊDO, A. F. R.; CALASANS, N. A. Risco de salinização dos solos da bacia hidrográfica do rio Colônia - sudeste da Bahia/Brasil. **Engvista**, v. 10, n. 1, p. 15-26, 2008.
- GAMA, J. R. N. F.; KIEHL, J. C. Influência do alumínio de um Podzólico Vermelho Amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 475-482, 1999.
- GEHRING, C.; MOURA, E. G.; SANTOS, R. R. S.; AGUIAR, A. C. F.; SOUSA, A. M. B.; BODDEY, R. M.. Ecological intensification of rice production in the lowlands of Amazonia. Options for smallholder rice producers. **European Journal Agronomy**, v. 46, p.25-33, 2013.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia. **Manual Técnico de Pedologia**. 3ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- MARTINS, J. S. **Pedogênese de Podzólicos Vermelho-Amarelos do estado do Acre**. 1993. 100 f. Tese (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias do Pará.
- MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; XAVIER, A. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 221-231, 2012.
- MOURA, E. G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In MOURA, E. G. (org.). **Agroambientes de Transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: UEMA, 2004.
- POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINO-CARLOS, V.; SILVA-FILHO, C. G. Transporte de nitrogênio, fósforo e seston em três rios pré-amazônicos (Estado do Maranhão, Brasil). **Bioikos**, Campinas, v. 16, n. ½, p. 29-39, 2002.
- PRADA-GAMERO, R. M.; VIDAL-TORRADO, P.; FERREIRA, T. O. Mineralogia e físico-química dos solos de mangue do rio Iriri no canal de Bertioga (Santos, SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p.233-243, 2004.
- RAIJ, B. van; VALADARES, J. M. A. S. **Análise dos elementos maiores de rochas, argilas e solos**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1974. 32 p. (Boletim Técnico, 16).
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book: il. color. E-book, no formato ePub, convertido do livro impresso. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>
- SILVA, A. C. da; MOURA, E. G. de. Atributos e especificidades de solos de Baixada no Trópico Úmido. In MOURA, E. G. (org.). **Agroambientes de Transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís, MA: UEMA, 2004.
- VALLADARES, G. S. Caracterização química e granulométrica de solos do Golfão Maranhense.

FARIAS FILHO, M. S., et. al.

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS HIDROMÓRFICOS SOBRE OS ALUVIÕES  
FLUVIOMARINHOS NO MUNICÍPIO DE ARARI – MA**

**Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 923-934,  
2009.