



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - SOLOS E NUTRIÇÃO
DE PLANTAS

ANTONIA GISLAINE BRITO MARQUES ALBUQUERQUE

PEDOGÊNESE E EVOLUÇÃO DE SOLOS DE *APICUM* EM CLIMA TROPICAL
SEMIÁRIDO

FORTALEZA
2015

ANTONIA GISLAINE BRITO MARQUES ALBUQUERQUE

**PEDOGÊNESE E EVOLUÇÃO DE SOLOS DE *APICUM* EM CLIMA TROPICAL
SEMIÁRIDO**

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas. Área de concentração Pedologia: Gênese e Classificação do Solo.

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.

Co-Orientador:

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira

FORTALEZA

2015

ANTONIA GISLAINE BRITO MARQUES ALBUQUERQUE

**PEDOGÊNESE E EVOLUÇÃO DE SOLOS DE *APICUM* EM CLIMA TROPICAL
SEMIÁRIDO**

Tese apresentada ao curso de Doutorado em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas. Área de concentração Pedologia: Gênese e Classificação do Solo.

APROVADA EM: 22/05/2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira (Co-Orientador)
Universidade de São Paulo – USP

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Valdomiro Severino de Souza-Júnior (Conselheiro)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

A **DEUS**, pela graça da vida, por ter colocado pessoas maravilhosas no decorrer desta e pela concessão das vitórias em minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES, pelo apoio financeiro através da concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas – UFC.

Ao Professor Dr. Tiago Osório Ferreira, pela amizade, orientação, ensinamentos, paciência, todo tempo que se dedicou ao meu trabalho, ter sido um excelente orientador e sempre ter acreditado em mim.

Ao Professor Dr. Ricardo Espíndola Romero do Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias/ UFC, pela amizade, confiança depositada em mim desde a graduação e pelo apoio durante o decorrer do curso.

Ao Professor Dr. Miguel Cooper do Departamento de Ciência do Solo/ USP, pelas análises de Micromorfologia do solo, pela ajuda na confecção das lâminas de micromorfologia.

Ao Professor Dr. César Ulisses do Departamento de Geologia/ UFC pelo auxílio nas análises de morfoscopia.

Ao Prof. Dr. Xosé Luiz Otero Perez da Faculdade de Biología do Departamento de Edafologia da Universidade de Santiago de Compostela- España pelas valiosas sugestões e pelas análises para o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Professor Dr. Benito Moreira de Azevedo pela disponibilidade do uso do Laboratório na Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias/UFC.

Aos Professores Drs. Valdomiro Souza-Júnior, Jeovah Meireles e Jaedson Mota pelas valiosas contribuições no aprimoramento deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo, em especial, ao Antônio José, Tavares, Marilene, Anderson e Edilson.

Aos geólogos Agnaldo, Laura, Diego e Joel do departamento de Geologia da UFC que me auxiliaram nas análises de morfoscopia e na confecção dos mapas.

A todos os meus familiares e amigos, em especial: Alessandra Carvalho, Alexia Larissa, Alexandre Albuquerque, Aline Luz, Ana Paula (Meu Bem), Anderson Pacheco, Adriano Albuquerque, Antônio Henrique, Bruce, Celina Araújo, Claudiane, Daniel Pontes, Danilo Romero, Edirlane Pinheiro, Elza Pinheiro, Igor, Moacir Júnior (Darth), Nicinha Souza, Nino, Olga Rubênia, Osmar Castro, Pedro Evandro, Raiana Lira, Sabrina Sales, Sâmia Paiva, Timóteo Oliveira, Virgínia Pires, Wesley Rocha e Winnie pela amizade construída ao longo desses anos, pelas brincadeiras, descontrações, incentivos, pelas palavras de conforto e carinho a mim dirigidas que, de forma direta ou indireta, deram sua contribuição para que eu chegasse até aqui.

Além da eterna amizade, fico imensamente grata à ajuda de Fabiana Gadelha, Gabriel Nuto, Rafaelly Duarte e Raul Carneiro, nesta etapa final de elaboração desse trabalho.

Aos meus pais José Valmir Gomes Marques e Maria Catarina Brito Marques, pelo carinho, atenção, dedicação e por tudo que me proporcionaram para que eu pudesse chegar até aqui. À minha irmã Érica Brito Marques, pelo amor fraternal.

Ao meu amado esposo André Henrique Pinheiro Albuquerque, pelo amor, incentivo, orações, compreensão e paciência dedicadas a mim. Amo-te mais que tudo.

RESUMO

Os últimos eventos eustáticos, aliado ao intenso aporte de sedimentos na planície costeira deram origem a um conjunto de unidades geoambientais, como por exemplo, as planícies fluviomarinhas, que abrigam os *apicuns*. Essa subunidade é uma área para a expansão do manguezal em períodos de aumento do nível médio do mar. Além disso, é um ambiente relacionado com a reprodução, proteção e desenvolvimento da fauna do manguezal, bem como auxilia nos aspectos sócio-econômico- cultural da população local. No entanto, apesar da sua importante função ecológica, poucas são as pesquisas que envolvam a gênese de seus solos. Neste sentido, esse estudo teve por finalidade contribuir para o entendimento da dinâmica deste sistema costeiro sob a visão pedológica. Para tanto, foram selecionados *apicuns* situados a sudeste e a noroeste do Estado do Ceará, onde foram realizadas análises morfológicas, físicas, químicas, geoquímicas, morfoscópicas e micromorfológicas. Os resultados encontrados mostraram que a flutuação do lençol freático permitiu a intensa formação de mosquedos e a incipiente estruturação do solo. Foi verificada a contribuição de material arenoso de natureza fina a muito fina e de grãos bem selecionados proveniente de dunas. Além disso, verificou-se que os solos do *apicum* a noroeste possuem menor grau de desenvolvimento, em comparação com os demais solos estudados, visto que a mineralogia e a micromorfologia suportam este fato. Além disso, há diferenciação nos teores de ferro entre os dois estuários e desfavorecimento na gênese de pirita. Neste caso, a presença de pirita em condições não propícias à sua formação indica que o *apicum* possui sua gênese correlacionada com os domínios de mangues, devendo ser considerado, diante das leis, integrante do ecossistema manguezal.

Palavras chave: Pedogeoquímica. Solos Hipersalinos. Semiaridez. Micromorfologia. Mineralogia das areias.

ABSTRACT

The last eustatic events, coupled with the intense amount of sediments in the coastal plain gave rise to a set of geo-environmental units, such as the marine fluvial plains, home to the *apicuns*. This subunit is an area for the expansion of mangroves in periods of increase in the average sea level. Moreover, it is a environment related with the reproduction, protection and development of mangrove fauna as well as assists in the socio-economic and cultural aspects of local people. However, despite its important ecological function, there are few research involving the genesis of its soils. In this sense, this study aimed to contribute to the understanding of the dynamics of this coastal system under the pedological view. *Apicuns* located southeast and northwest of Ceará were selected and were held morphological, physical, chemical, geochemical, morphoscopic and micromorphological analyzes. The results showed that the fluctuation of the water table allowed the intense iron oxide precipitation and the incipient structuring of the soil. The contribution of sandy material with nature thin to very thin and well selected grain from dunes has been verified. Furthermore, it was found that the northwest *apicum* have a lower degree of development as compared with the other soils, since the morphology and mineralogy support this fact. Also, there is differentiation in iron content between the two estuaries and disfavoring in the genesis of pyrites. In this case, the presence of pyrite in conditions not conducive to their formation indicates that *apicum* has its genesis correlated with areas of mangroves and should be considered, before the law, member of the mangrove ecosystem.

Keywords: Geochemistry soil. Hypersaline soils. Semi arid. Micromorphology. Mineralogy of sands.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	8
CAPÍTULO 1- <i>Apicuns</i> : Caracterização geral de um ambiente costeiro hipersalino	
1. Referencial Teórico	11
2. O que são <i>apicuns</i> e seu histórico	11
3. Importância dos <i>apicuns</i>	13
4. Formação dos <i>apicuns</i>	16
5. Caracterização e classificação dos solos de <i>apicum</i>	20
6. Referências	24
CAPITULO 2- Caracterização e gênese de solos hipersalinos do estuário do rio Pacoti-CE	
1. Introdução.....	33
2. Material e Métodos	35
3. Resultado e Discussão	40
4. Conclusão	51
5. Referências	52
CAPITULO 3- Diferenças pedogenéticas em solos de <i>apicum</i> : estudo de caso no litoral noroeste e sudeste do Ceará	
1. Introdução.....	59
2. Material e Métodos	60
3. Resultado e Discussão	68
4. Conclusão	81
5. Referências	82
CAPITULO 4- Pedogeoquímica do ferro em ambientes hipersalinos no litoral noroeste do Ceará	
1. Introdução.....	89
2. Material e Métodos	90
3. Resultado e Discussão	97
4. Conclusão	105
5. Referências	106

INTRODUÇÃO

A interação dos componentes marinhos e continentais em conjunto com as mudanças climáticas no Quaternário deu origem a uma extensa planície costeira ao longo do litoral brasileiro (MEIRELES *et al.*, 2005), cuja evolução é caracterizada por processos trans-regressivos do mar (BITTENCOURT *et al.*, 1982; DOMINGUEZ *et al.*, 1982), pela deriva litorânea de sedimentos (DOMINGUEZ; BITTENCOURT; MARTIN, 1983) e pelos sistemas de bacias de drenagem continental (WOLANSKI, 2001).

A exposição dos sedimentos marinhos durante a última regressão do mar e o constante aporte sedimentar marinho e fluvial na planície costeira deram origem a um conjunto de unidades geoambientais como a faixa praial e terraços marinhos; campos de dunas e paleodunas; e planície fluviomarinha (MEIRELES *et al.*, 2005). Nas zonas tropicais e intertropicais, a planície fluviomarinha, cujos principais agentes de formação são os sistemas fluviais, lagunares e marinhos, abrigam importantes ecossistemas estuarinos (manguezal e *apicum*).

Os manguezais destacam-se pelo elevado teor de matéria orgânica e elevada frequência de inundação pelas marés que promove altos índices de salinidade (MACIEL, 1991; ROSSI; MATOS, 2002; CARVALHO *et al.*, 2007). No entanto, a combinação da água do mar com a água doce promove o surgimento de uma vegetação dominante de médio a grande porte (p.e. *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*). O mangue possui importantes características de eliminação de sais pela folha e apresentam raízes que realizam trocas gasosas com a atmosfera (VANNUCCI, 2003) como meio de adaptação às condições halomórficas e hidromórficas do solo (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; SCHAEFFER-NOVELLI, 2002).

Este ecossistema também apresenta outras funções como reserva de nutrientes, nicho ecológico para aves migratórias, peixes e crustáceos (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989) e são áreas de grande importância socioeconômica e ecológica para as comunidades costeiras (HAJU, 2007).

Pedologicamente este ecossistema é bastante dinâmico devido à deposição de sedimentos provenientes do transporte fluvial e marítimo, de forma que os horizontes ou camadas de superfície do solo sejam constantemente modificados (ROSSI; MATTOS, 2002). Diante disto, quando a deposição de material

sedimentar que é transportado pela ação das ondas, ventos e sistema fluvial é bastante intenso, ocorre a formação de bancos de areia nos canais e estuários, de modo a promover o assoreamento das gamboas, soterramento dos manguezais (MEIRELES *et al.*, 2007) e a elevar o nível topográfico do relevo.

Desta forma, a água que chega a este ambiente é aprisionada, sofre evaporação e, conseqüentemente, há o aumento das concentrações de sais (ZACK; ROMAN- MAS, 1988; VIEILLEFON, 1969; PELLEGRINI, 2000). Esta dinâmica é observada principalmente em regiões submetidas a condições climáticas áridas ou semiáridas, e dá origem ao ambiente denominado *apicum* (MEIRELES *et al.*, 2007; LEBIGRE, 2007; HADLICH *et al.*, 2010).

A baixa precipitação pluvial, aliada à intensa evaporação, favorece a concentração de sais no solo de até cinco vezes a mais no *apicum* do que os valores esperados para a água do mar (RIDD; SAM, 1996; SAM; RIDD, 1998; RIDD; STIEGLITZ, 2002), propiciando o estabelecimento de vegetação herbácea halófito ou a ausência de cobertura vegetal (RAVAI *et al.*, 2012).

Na literatura são encontrados registros de ocorrência de *apicuns* principalmente no Nordeste do Brasil (LEBIGRE, 1999; HADLICH; UCHA; CELINO, 2008; MARQUES *et al.*, 2014a). Entretanto, áreas similares, mesmo sem denominação *apicum*, são encontradas em outras regiões do planeta (BIGARELLA, 1947; BIGARELLA, 2001; LANA, 2003; CONESA *et al.*, 2011), como por exemplo alguns países do continente africano (Gabão e Madagascar), asiático (Nova Caledônia) (LEBIGRE, 2007) e oecania (Austrália) (RIDD; STIEGLITZ, 2002).

O constante estado de hidromorfismo do solo de *apicum* em subsuperfície é promovido pela a elevação do lençol freático, fazendo com que o solo expresse cores acinzentadas, sejam apédicos, hipersalinos e geralmente classificados como Gleissolos Tiomórficos (MARQUES *et al.*, 2014a). Além desta característica também foram determinados solos com caráter flúvico (Neossolos Flúvicos; RUIVO *et al.*, 2005) e textura arenosa ao longo do perfil (Neossolos Quartzarênicos; UCHA; HADLICH; CELINO, 2008).

O *apicum* tem uma importante função ligada a reprodução, proteção, desenvolvimento de diferentes animais, principalmente crustáceos decápodos (NASCIMENTO, 1993; SCHIMDT, 2006) e o desenvolvimento sócio-econômico-cultural para a população local. No entanto, apesar destes aspectos, há grandes problemáticas exercidas sobre o *apicum* devido às pressões decorrentes da

atividade antrópica (UCHA; HADLICH; CELINO, 2008; HADLICH; UCHA; CELINO, 2008), principalmente no Nordeste brasileiro (MEIRELES *et al.*, 2007).

A situação é agravada diante do Novo Código Florestal Brasileiro (NCFB), a partir da medida provisória N°571, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), que passou a permitir a ocupação de 10% e 35% das áreas de *apicuns* situadas no bioma amazônico e no restante do país, respectivamente, com a carcinicultura e implantação de salinas (BRASIL, 2012). Estas atividades quando inseridas no *apicum* antes de 22 de julho de 2008, também foram legalizadas (BRASIL, 2012).

Por serem raros os estudos que mostram exatamente a extensão do *apicum* e os seus efeitos sobre os manguezais, é praticamente impossível protegê-los da ação antrópica (RAVAI *et al.*, 2012). Neste caso, ao permitir a antropização do *apicum* no NCFB, os manguezais também podem vir a serem prejudicados (RAVAI *et al.*, 2012), pois estas planícies hipersalinas representam uma área estratégica para recuo do manguezal no caso de um aumento do nível do mar (PORTUGAL, 2002). Com isto, é necessário um melhor entendimento da evolução do *apicum*, com enfoque na caracterização dos processos que regem o funcionamento desses solos.

CAPITULO 1

Apicuns: caracterização geral de um ambiente costeiro hipersalino

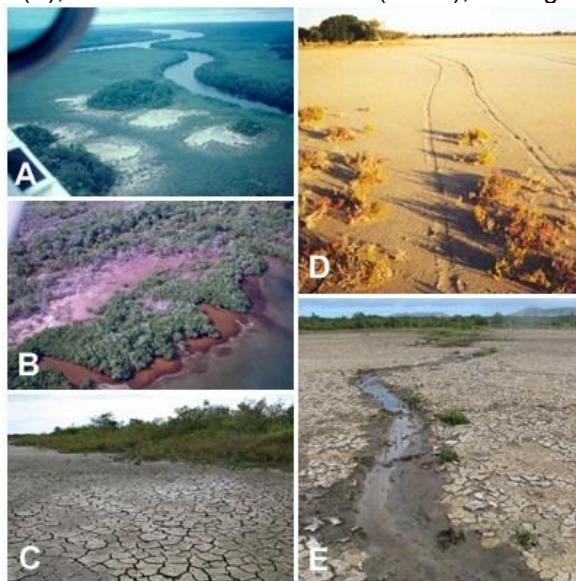
Referencial teórico

1.1 O que são os *apicuns* e seu histórico

O termo *apicum* é originado do vocabulário Tupi-Guarani e significa coroa de areia feita pelo mar ou brejo de água salgada à borda do mar (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008). Este ambiente está situado na porção periférica e mais elevado em relação aos manguezais, destacando-se por uma aparente ausência de fauna, apesar de estar cercada por ecossistemas ricos do ponto de vista biológico (NASCIMENTO, 1993).

Na literatura internacional as designações *tannes* (LEBIGRE, 2007), *saltflats* (RIDD; STIEGLITZ, 2002), *hipersaline tidal flats*, *supratidal flats*, *sabkhas* e *unvegetated flats* (HADLICH *et al.*, 2009) são utilizadas para descrever áreas similares ao *apicum*, ou seja, são zonas de solo geralmente arenoso, hipersalinos, desprovidos de cobertura vegetal ou ocupados por vegetação herbácea (Figura 1), com precipitação de sais e adjacentes ao manguezal.

Figura 1 – Ambientes correlatos ao *apicum* em diferentes partes do mundo: Gabão- África (A), Honduras- America Central (B), Nova Caledônia-Oceania (C e E), Madagascar- África (D).



Fonte: site da internet:

http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/geographie/d/les-marais-a-mangrove-et-les-tannes_683/c3/221/p1/

Em comparação aos demais ecossistemas costeiros, o *apicum* começou a ser estudado tardiamente (LEBIGRE, 2007) e alguns dos precursores do entendimento deste ambiente foram Vieillefon (1969; 1977), Marius (1985) e Sadio (1989), em estudos no Senegal. De fato, Lebigre (2007) reporta que este país, juntamente com a Gâmbia, possui os primeiros *tannes* estudados do mundo, seguidos por outros países como Madagascar, Austrália, Nicarágua e Equador. Locais cujo os compartimentos litorâneos são sujeitos a climas tropicais em que a estação seca tem duração de pelo menos três meses (Tabela 1).

Já no Brasil, Marius (1987), ao estudar solos estuarinos em Vitória (ES), foi uns dos primeiros autores a relatar ambientes brasileiro similares aos *tannes* de Senegal, mas com menor expressão territorial do que as áreas hipersalinas do continente africano.

Bigarella (1947), ao analisar a planície Litorânea do Estado do Paraná, parece descrever um ambiente similar ao *apicum*. O mesmo constatou elevada concentração de sais e presença de bancos de sedimentos areno-argilosos que evoluíam morfologicamente a tabuleiros arenosos devido ao elevado aporte de sedimentos e da concentração de areia. Em subsuperfície o autor verificou indícios de um antigo manguezal soterrado que denominou de “mangrovito” e salientou que esta zona arenosa pode ser, ou não, recolonizada pelo mangue.

Tabela 1 – Dados climáticos do Litoral de alguns países com presença de ambientes correlatos ao *apicum*.

Países	Temperatura (°C)	Precipitação pluvial (mm)	Estação seca (meses)	Referência
		Média anual		
Madagascar	30,0	500	6	WMO, 2012
Austrália	30,0	660,83	5	Ward <i>et al.</i> , 1998
Equador	25,8	84,48	5	WMO, 2012
Senegal	27,6	42,79	7	WMO, 2012

Após 54 anos, Bigarella (2001), ao aprofundar o estudo da planície Litorânea paranaense, reafirma que o banco arenoso visualizado primeiramente em 1947 pode ser formado dentro do bosque de mangue e que em períodos secos e quentes é depositada uma fina camada de sais na superfície do solo que promove o

estabelecimento de vegetação herbácea (ciperáceas). O autor afirma que este processo é condicionado pelos níveis de baixa-mar e preamar.

Lana (2003), também ao estudar a planície Litorânea paranaense, descreve este ambiente, similar ao *apicum*, e afirma que é bastante comum nas regiões estuarinas paranaenses e acrescenta que estas áreas não são vegetadas, mas o solo é coberto por bancos de algas ou por filmes de algas diatomáceas (biofilmes). Um estudo realizado por Porada e Eriksson (2009) no Sul da África, observou que a atividade microbiológica é promotora da coesão entre as partículas da superfície do solo de *apicum* (*Supratidal Flats*), mas quando a concentração de evaporitos é muito intensa a tendência é diminuir esta população microbiana.

No Nordeste os poucos estudos sobre *apicum* são concentrados na Bahia (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008; HADLICH; UCHA; UCHA; HADLICH; CELINO, 2008) e Ceará (MEIRELES *et al.*, 2007; MEIRELES; SILVA; THIERS, 2010; MARQUES *et al.*, 2012, 2014a), colaborando para o entendimento da gênese do *apicum* em ambientes com estação seca bem definida e prolongada, assim como a interação com compartimentos ambientais adjacentes como manguezais e Tabuleiros Costeiros.

1.2 Importância dos *apicuns*

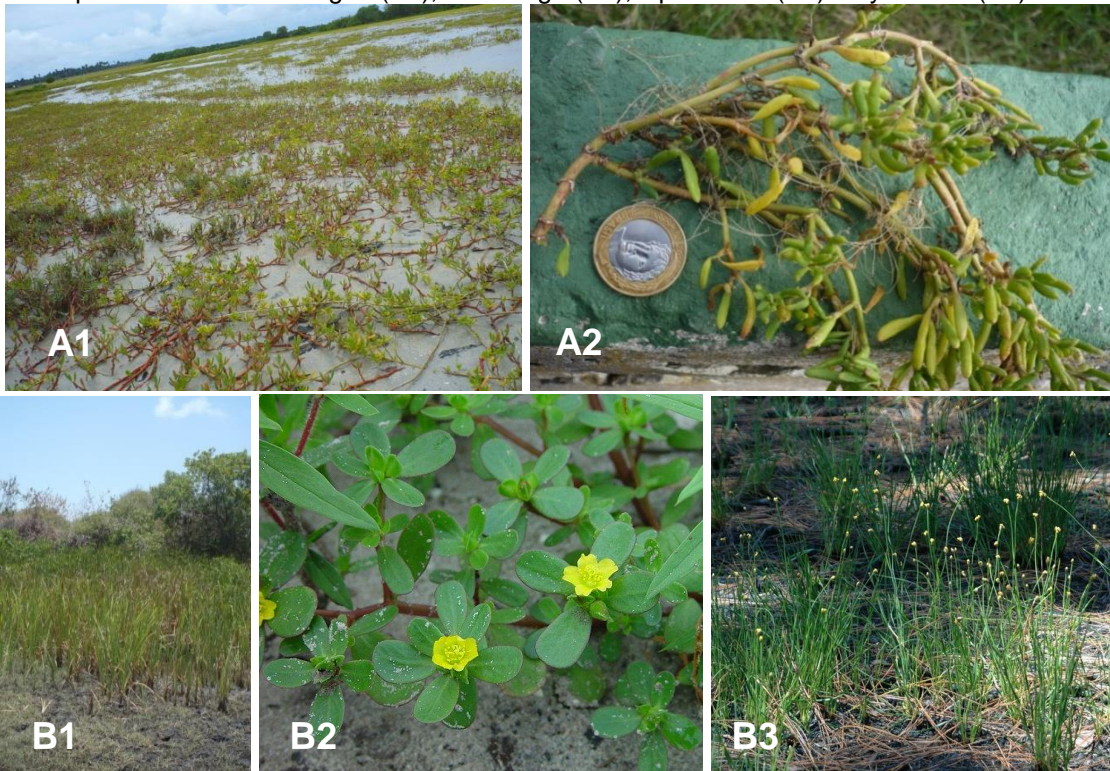
Os *apicuns* desempenham um papel fundamental no aspecto ecológico, pois abrigam espécies de mangue, bem como outros animais que procuram as regiões costeiras durante uma pequena fase do ciclo de vida (SCHAEFFER-NOVELLI, 2002). Pode-se citar como exemplo, a elevada densidade populacional de larvas do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) que é verificada na região do *apicum* no início do verão (quadra chuvosa), uma vez que ao atingir tamanho considerável, este retorna ao mangue, onde se alimenta preferencialmente de folhas de *Rhizophora mangle*. Esta migração ocorre em períodos de marés de sizígia, trazendo consigo os indivíduos dessa espécie (NASCIMENTO, 1993).

Em decorrência dos elevados índices de salinidade, muitas espécies vegetais não apresentam capacidade fisiológica para sobreviver em solos de *apicum* (UCHA *et al.*, 2004). Com isto, a vegetação deste ambiente é de pequeno porte e, em alguns trechos, são encontrados vestígios de vegetação de mangue (LABOMAR/SEMACE, 2005; MEIRELES, 2005). Vieillefon (1969) afirma que é possível, em

algumas situações observar, na camada de 20 a 50 cm de profundidade, vestígios de raízes de *Avicennia* em áreas de *apicum*.

De acordo com dados do IBAMA (2005), neste ambiente há o predomínio de espécies herbáceas (Figura 2), destacando-se o brejo do mangue (*Batis maritima*), a beldroega (*Portulaca oleracea*), além das ciperáceas (*Cyperus* sp.) e das xyridáceas (*Xyris* sp.).

Figura 2 - Vegetação encontrada em *apicum* (A e B): Campo de brejo do mangue (A1) e exemplar de brejo do mangue (A2); Beldroega (B1); ciperáceas (B2) e xyridáceas (B3).



Fonte: Autora (Figuras 1- A1, A2 e B1), site da internet: http://www.missouriplants.com/Yellowalt/Portulaca_oleracea_page.html (Figura 1- B2); <http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5473863> (Figura 1- B3).

As áreas de *apicum* tornam-se propícia à revegetação de mangue quando a salinidade decresce em épocas chuvosas (NASCIMENTO, 1999; SCHAEFFER-NOVELLI, 2002; ACKERMANN *et al.*, 2006; LEBIGRE, 2007) devido à diluição dos sais, mas também pode ocorrer o aumento do *apicum* (*unvegetated hypersaline flats*), em detrimento dos manguezais devido à baixa precipitação pluvial (SNEDAKER, 1995).

Do ponto de vista edafológico, o *apicum* se destaca como um reservatório de nutrientes, uma vez que no período chuvoso este compartimento disponibiliza

matéria orgânica e bases (NASCIMENTO, 1999; MARQUES *et al.*, 2014a) proveniente, principalmente, das áreas adjacentes.

Quanto ao aspecto ecológico, o *apicum* tem uma função ligada à reprodução, proteção, desenvolvimento de diferentes animais, principalmente crustáceos decápodos (NASCIMENTO, 1993; SCHIMDT, 2006) e tem uma grande importância para a população local, devido à realização de atividades de recreação, bem como para a economia com a pesca e criação de animais domésticos (Figura 3A) (ACKERMANN *et al.*, 2006). Além disso, estas planícies hipersalinas representam também uma área estratégica para recuo do manguezal no caso de um aumento do nível do mar (PORTUGAL, 2002).

No entanto, apesar destes aspectos, há grandes problemáticas exercidas sobre o *apicum* devido às pressões decorrentes da atividade antrópica, como implantação de fazendas de produção de camarão e de salinas (Figura 3B,C) (UCHA; HADLICH; CELINO, 2008; HADLICH; UCHA; CELINO, 2008).

Figura 3 – Utilização do *apicum* pela população ribeirinha (A), salina (B) e por fazendas de carcinicultura (C).



Fonte: site da internet:

http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/geographie/d/les-marais-a-mangrove-et-les-tannes_683/c3/221/p1/ (Figura 2-A e B);

<https://maps.google.com.br/> (Figura 2- C).

1.3 Formação dos *apicuns*

A dinâmica geoambiental litorânea através de inúmeros processos costeiros (p.e. marés, ondas, ventos, precipitação pluvial etc) atua sobre a erosão, transporte e deposição de sedimentos, permitindo a modificação constante da costa e, portanto, interação entre os componentes dos ecossistemas estuarinos (MEIRELES, 2004; AGUIAR; CESTARO, 2012).

Diante disto, o material sedimentar é transportado pela ação das ondas, ventos e sistema fluvial, favorecendo a formação de bancos de areia nos canais e estuários, de modo a promover o desvio e assoreamento das gamboas e dos manguezais (MEIRELES *et al.*, 2007). Desta forma, a água que chega a este ambiente é aprisionada sofrendo evaporação e, conseqüentemente, promove o aumento das concentrações de sais (ZACK; ROMAN- MAS, 1988; VIEILLEFON, 1969; PELLEGRINI, 2000).

Sob o ponto de vista geomorfológico, o *apicum* é considerado uma área ativa por receber constantemente sedimentos das áreas adjacentes por intermédio da ação ondas que depositam sedimentos durante a retomada do fluxo de vazante, pelo sistema fluvial que transporta sedimentos das áreas interiores do continente e deposita ao longo da planície costeira (MEIRELES *et al.*, 2007) e pelos ventos. A ação deste último fator é intensificada na estação seca, tornando-se o principal agente transportador (KOEPPEN, 1948; ALVES; FISCH; VENDRAME, 1999), ao proporcionar o deslocamento de partículas de solo ou o deslocamento de dunas sobre manguezais e/ou canais estuarinos, contribuindo para a gênese do *apicum*.

A natureza do material sedimentar que forma o solo deste ambiente varia de fino (argila e silte) a grosseiro (areia) (HADLICH; CELINO; UCHA, 2010; MARQUES *et al.*, 2014a; CONESA *et al.*, 2011). Segundo Hadlich e Celino (2009), após a sua deposição, em decorrência do efeito dispersante do sódio aliado ao sistema hídrico (ação das marés altas e precipitação pluvial) ocorre a remoção da argila e a conseqüente dominância da fração areia.

Os teores relativamente elevados de areia em solos *apicum* estão associados à evolução costeira durante o Quaternário. Estudos indicam que, durante o processo evolutivo da planície costeira no Quaternário, as áreas mais baixas das planícies fluviomarinhas foram recobertas por depósitos arenosos pleistocênicos que, posteriormente foram retrabalhados durante a última transgressão (5.100 anos

A.P.; FUNCEME, 2009; VILAS BOAS *et al.*, 2001; MEIRELES; RAVENTOS, 2002). Neste caso, a variação do nível do mar a partir de processos eustáticos e associadas aos eventos transgressivos e regressivos tendem a modificar a dinâmica morfológica costeira (MEIRELES *et al.*, 2005).

A gênese do *apicum* sobre antigos domínios de manguezais sugere que os depósitos de paleomangues originaram-se em níveis marinhos mais baixos que o atual, e em resposta aos processos regressivos, houve a eliminação da vegetação de mangue em decorrência da diminuição da inundação pelas marés.

Essa hipótese vem sendo comprovada pela verificação da presença de vestígios de plantas de mangue (Figura 4) na subsuperfície de diferentes solos de *apicuns* (BIGARELLA, 1947; VIEILLEFON, 1969; MARIUS, 1985; NASCIMENTO, 1999; BIGARELLA, 2001; UCHA *et al.*, 2004; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010; MARQUES *et al.*, 2014a; MARCHAND, LALLIER-VERGÈS; ALLENBACH, 2011) e com base nas observações das camadas subsuperficiais do solo de *apicum*, nas quais frequentemente são encontrados resquícios de valvas de ostras (NASCIMENTO, 1999; HADLICH *et al.*, 2010).

Figura 4 - Possíveis restos de material vegetação de mangue enterrado em ambiente de *apicum*.



Fonte: Marques *et al.* (2014a), adaptado pela autora.

A preservação do material vegetal em maiores profundidades deve-se ao hidromorfismo do solo (HADLICH *et al.*, 2009; MARQUES *et al.*, 2014a). Neste caso, a quantidade de oxigênio (O_2) dissolvido é diminuída fazendo com que os microrganismos do meio tenham seu metabolismo desacelerado, uma vez que o O_2 atua como receptor de elétrons para promover a máxima eficiência de decomposição da matéria orgânica.

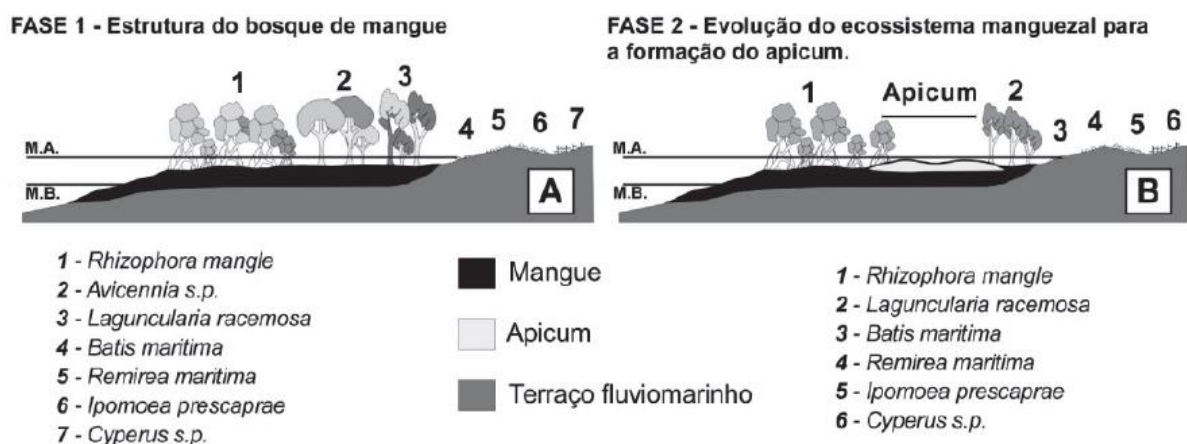
Desta forma, a microbiota tende a buscar outras vias ($O_2 > NO_3^- > Mn^{4+} > Fe^{3+} > SO_4^{2-} > CO_2$) de menor rendimento energético que resulta no acúmulo do material orgânico (MITSCH; GOSELINK, 1993).

Embora possa ser encontrado um elevado conteúdo de matéria orgânica nos primeiros milímetros da superfície do solo do *apicum*, advindo da atividade das microalgas (RIDD *et al.*, 1997; MEIRELES *et al.*, 2007), é muito comum que sejam observados maiores teores em camadas subsuperficiais.

Outro fator que parece contribuir para a gênese do *apicum* é a entrada de sedimentos erodidos provenientes de áreas mais elevadas (p.e. Tabuleiro Costeiro) recobrendo áreas de manguezal (UCHA, 2004), caracterizando uma forma natural de recuo (UCHA *et al.*, 2004; ACKERMANN *et al.*, 2006). A topografia plana do *apicum* com declividades máximas de 0,4%, quando comparada às maiores (> 3%) das áreas contíguas mais elevadas, reforça a hipótese do seu desenvolvimento a partir da erosão dos solos situadas nas posições mais elevadas da paisagem (HADLICH; CELINO; UCHA, 2008).

A formação do *apicum* pode ainda ser favorecida a partir da colonização da vegetação do gênero *Rhizophora* no manguezal, onde à medida que há o desenvolvimento do bosque (Figura 5A) aconteceria, em paralelo, a formação de bancos de areia como resultado do aprisionamento de sedimentos pela estrutura das raízes desta vegetação (CINTRÓN, 1978).

Figura 5 - Esquematisação do bosque de mangue (A) evoluindo para setores de *apicum* (B).



Fonte: MEIRELES *et al.*, 2010
 M.A. - maré alta; M.B.- maré baixa.

Desta forma, a água marinha só poderá atingir estes locais em períodos de marés de sizígia que, por conseguinte, principalmente em ambientes áridos ou

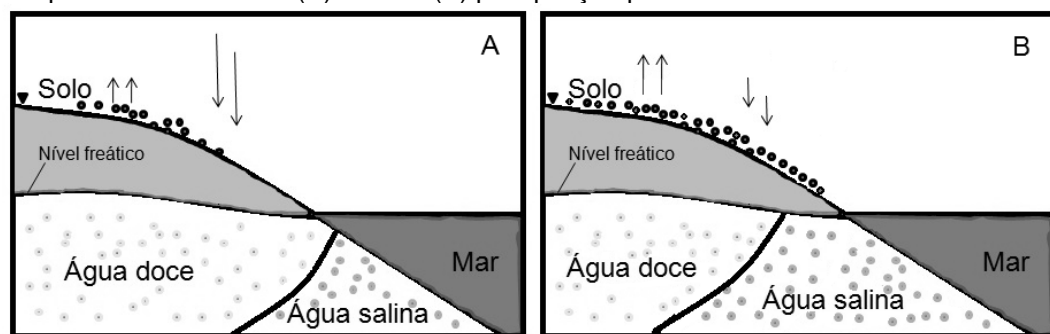
semiáridos, evaporar-se-á promovendo a concentração de sais (ZACK; ROMAN-MAS, 1988, VIEILLEFON, 1969 e PELLEGRINI, 2000). Outra consequência da constante entrada de sedimentos no estuário é a elevação do nível topográfico do *apicum* em relação aos manguezais (Figura 5B)

Os *apicuns* são encontrados em maiores número e extensão na faixa da região Nordeste (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 1990; SHAEFFER-NOVELLI, 2002; HADLICH; CELINO; UCHA, 2008). Esta distribuição reflete a tendência de estuários, cuja bacia de drenagem está sob influência de clima tropical árido ou semiárido, apresentarem maiores áreas ocupadas por este ambiente (RIDD; STIEGLITZ, 2002).

Além das condições climáticas, contribuindo para o aumento da quantidade de sais no *apicum*, ocorre a intrusão salina de águas marinhas subterrâneas a partir do mar (RIDD *et al.*, 1997). Neste caso, os fluxos subterrâneos de água doce e salgada se encontram (Figura 6) e a água salgada permanece subjacente à água doce dentro do meio poroso devido a sua maior densidade (ALMEIDA; SILVA JUNIOR, 2007).

Diante disso, em períodos de elevada precipitação pluvial, a quantidade de água doce que abastece o aquífero é maior (Figura 6A), quando comparado com períodos de baixa precipitação pluvial (Figura 6B), favorece a diminuição da salinidade do solo.

Figura 6 - Modelo da interface da água doce com a água salgada no aquífero costeiro em períodos de elevada (A) e baixa (B) precipitação pluvial.



↑ Evaporação • Precipitação de sais
↓ Precipitação pluvial

Fonte: Almeida e Silva Junior (2007), adaptado pela autora.

No entanto, em condições de menor precipitação, a ação da capilaridade em decorrência da elevada evaporação conduz a água salina para a superfície do solo (LEBIGRE, 2007), promovendo uma maior precipitação de sais no solo e o

aumento dos valores verificados de salinidade (C.E.) e pH. Segundo LEBIGRE (2007) o processo de translocação de sais associado à formação destas planícies salinas pode ser denominado de *tannification*.

Outro fator que pode colaborar com o processo de evaporação é a ação dos ventos, que por sua vez varia conforme o relevo, vegetação, espaço e época do ano (VENDRAMINI, 1986).

Vieillefon (1977), uns dos precursores no estudo de *apicuns* (*tannes*), também relatou o efeito anual da sazonalidade sobre o acúmulo de sais nestas áreas. Isto devido à circulação de água do manguezal para o *apicum* na estação seca e a inversão deste movimento durante a estação chuvosa.

De fato, a sazonalidade parece interferir diretamente sobre a salinidade e na concentração de sais nos solos de *apicuns*, especialmente durante os períodos de déficit hídrico, de forma a promover significativas variações temporais em superfície (HADLICH *et al.*, 2008; LEBIGRE, 1983).

Esta condição favorece a colonização de plantas halófitas em detrimento do mangue, que por sua vez também interfere nos teores de carbono orgânico, pois a vegetação tolerante à salinidade, p.e. *Batis marítima*, frequentemente encontrada no *apicum*, produz pouca biomassa (PENNING; RICHARDS, 1998). Isto faz com que os teores de carbono orgânico observados variem de 0 g.Kg⁻¹ (MARQUES *et al.*, 2014a; MARCHAND; LALLIER-VERGÈS; ALLENBACH, 2011) a 160 g.Kg⁻¹ (MARCHAND; LALLIER-VERGÈS; ALLENBACH, 2011).

A colonização das áreas de *apicum* parece estar intimamente relacionada aos níveis de salinidade no solo. Nascimento (1999) e Hadlich; Celino; Ucha (2010) verificaram que em anos nos quais a precipitação é mais elevada, a diluição dos sais no solo permite que o *apicum* seja colonizado por espécies típicas de mangue. Em épocas de déficit hídrico, comum na costa Nordeste semiárida, pode ocorrer o avanço do *apicum* sobre as áreas de manguezal (PORTUGAL, 2002 e NASCIMENTO, 2007).

1.4 Caracterização e classificação dos solos de *apicum*

Os *apicuns* e manguezais são sistemas ecológicos contíguos, mas possuem solos com algumas características contrastantes, como por exemplo, diferem significativamente quanto a parâmetros físicos e químicos (UCHA;

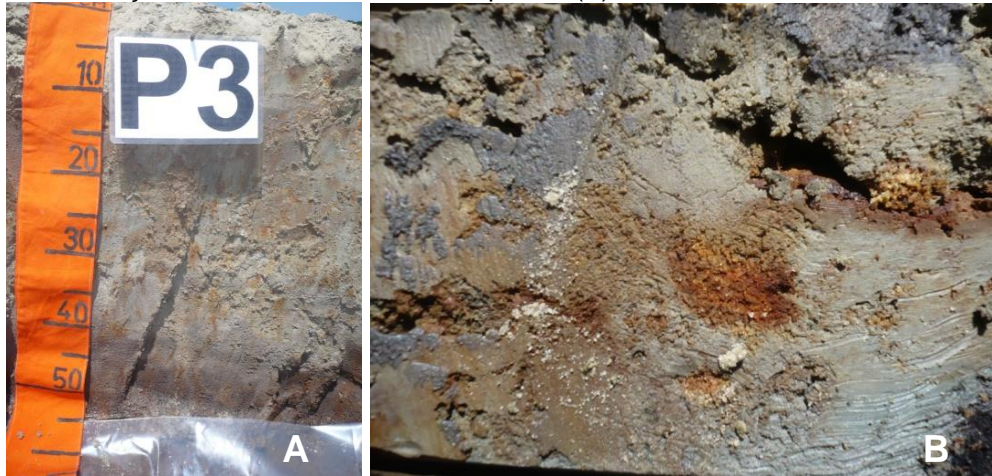
HADLICH; CELINO, 2008; MARQUES *et al.*, 2014a; HADLICH; CELINO; UCHA, 2010):

- a) Granulometria: Os solos de *apicum* são geralmente mais arenosos;
- b) pH, salinidade e condutividade elétrica (CE): Nos domínios de mangue, há constante mistura de água doce e salgada, promovendo baixos valores, quando comparados aos solos de *apicum*, para os parâmetros mencionados.
- c) Potencial de oxiredução (Eh): Ao contrário dos solos de manguezal, no *apicum* a condição hidromórfica acontece apenas em períodos de maré de sizígia. Isto permite verificar elevados valores de Eh nos solos de *apicum*;
- d) Teores de carbono orgânico: A salinidade no *apicum* não permite a fixação de vegetação arbórea, assim como acontece nos bosques de mangue. Além disso, a rápida mineralização do material orgânico contribui para os baixos teores de carbono orgânico.

No entanto, há troca de constituintes entre estes dois compartimentos, tais como sílica, alumínio e ferro que ao serem solubilizados no *apicum* são carregados para o manguezal (MARQUES *et al.*, 2014a). Com isto, a geoquímica destes elementos está diretamente relacionada com a salinidade, pH e hidromorfismo, de forma que a abundância de sílica e alumínio na solução do solo ocorre no período seco, e a quantidade de ferro solubilizado é maior na estação chuvosa (VIEILLEFON, 1977).

No *apicum*, a entrada de água acontece essencialmente nos eventos de maré alta (sizígia) ou pelo lençol freático que surge a poucos centímetros da superfície do solo que por sua vez, por estar na porção mais baixa da paisagem, é constantemente abastecido por águas subterrâneas provenientes do mar e da drenagem continental (HADLICH; UCHA; CELINO, 2008; MARQUES *et al.*, 2014a, 2014b). Desta forma, a constante saturação por água em subsuperfície favorece a ocorrência da gleização (redução das formas de ferro) e, portanto, o surgimento de cores neutras ou quase neutras típicas de ambiente redutor, semelhante às constatadas em solos de mangue (FERREIRA *et al.*, 2007). Dependendo da dinâmica de flutuação do lençol freático, mosqueados de cores mais vivas podem ou não ocorrer (Figura 7 A e B).

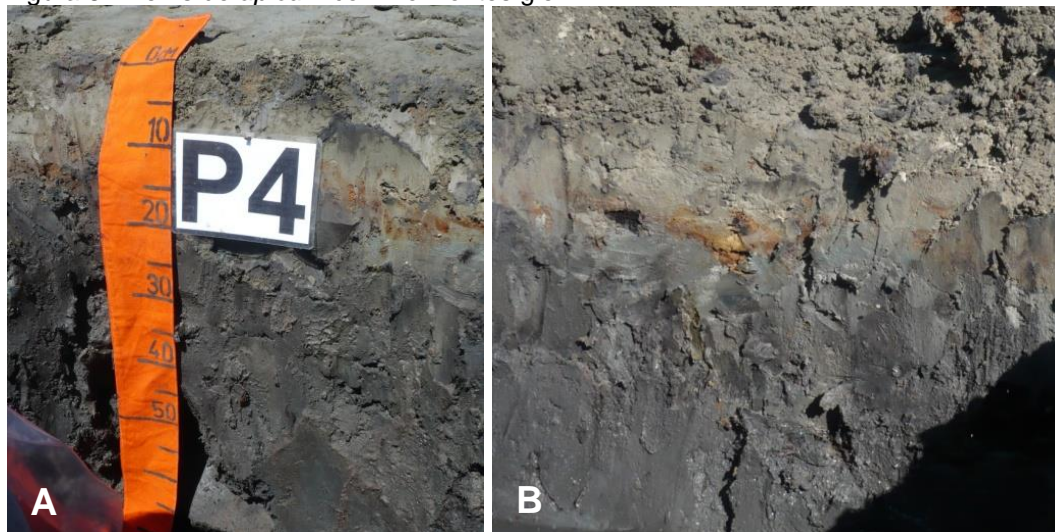
Figura 7 - Abundância de mosqueados em solos de *apicum* (A) e detalhamento da concentração de ferro na forma de mosqueado (B).



Fonte: Marques *et al.* (2014), adaptado pela autora.

Os solos formados a partir deste processo são classificados no primeiro nível categórico como Gleissolos (EMBRAPA, 2013) ou Solonchaks (IUSS WORKING GROUP WRB, 2006). Os *salt flats* da Espanha (CONESA *et al.*, 2011) e da Nova Caledônia (LEBIGRE, 2007; MARCHAND; LALLIER-VERGÈS; ALLENBACH, 2011); *tannes* do Senegal, Gâmbia (MARIUS, 1985) e Madagascar (LEBIGRE, 2007); e os *apicuns* do Brasil localizados no Ceará (MARQUES *et al.*, 2014a, 2014b) e na Bahia (UCHA; HADLICH; CELINO, 2008) apresentam cores neutras em subsuperfície, indicando uma forte influência do lençol freático na gênese do horizonte glei (Figura 8 A e B).

Figura 8 - Perfis de *apicum* com horizontes glei.



Fonte: Marques *et al.* (2014), adaptado pela autora.

Opostos à condição anóxica do *apicum*, encontram-se os solos classificados como Neossolos Quartzarênicos (UCHA; HADLICH; CELINO, 2008), com textura arenosa (HADLICH; CELINO; UCHA, 2008). Estes, por possuírem maiores quantidade de macroporos e estarem sob influências das condições semiáridas, onde a precipitação é deficitária, favorecem a transformação de pirita a jarosita em solos de *apicum* que apresentam horizontes de antigos manguezais soterrados (MARIUS, 1985). Este processo também é beneficiado pela ausência de cobertura vegetal, que favorece a evaporação e conseqüentemente, uma importante oxidação da matéria orgânica e sulfetos com auxílio de bactérias sulfato-oxidantes (MARIUS *et al.*, 1987).

Variação dos teores de matéria orgânica em profundidade foi observada por Ruivo *et al.* (2005) na ilha de Algodoal /Maiandeuca (PA), e estes autores classificaram o solo estudado como Neossolos Flúvicos.

Outro processo diretamente relacionado à saturação por água nas áreas de *apicum* é a sulfidização ou gênese de material sulfídrico. A presença destes compostos reduzidos de Fe e S em solos de *apicum* podem estar relacionada a uma herança dos solos de manguezal pré-existentes e soterrados ou ainda à neoformação *in situ* (MARQUES *et al.*, 2014a, 2014b).

Já o efeito da salinidade sugere o reconhecimento do caráter sálico (CE dS/m a 25°C \geq 7dS/m), salino (4dS/m \leq CE dS/m a 25°C < 7dS/m), sódico (PST \geq 15%,) ou solódico (6% \leq PST < 15%,) nos solos, conforme o sistema brasileiro para classificação de solos - SiBCS (EMBRAPA, 2013).

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. S.; CESTARO, L. A. Caracterização da unidade geoambiental litorâneo-eólica de Senador Georgino Avelino/RN. **Rev. Geonorte**, Edição Especial, v.3, n.4, p. 703 -714, 2012.
- ALMEIDA, G. M.; SILVA JUNIOR, G. C. Fatores hidrogeológicos no estudo da intrusão salina em aquíferos costeiros da região litorânea do município de Maricá - RJ. **Anu. Inst. Geocienc.**[online]. v.30, n.2, p. 104 -117, 2007.
- ALVES, F. S. M.; FISCH, G.; VENDRAME, I. F. Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na Amazônia: Estudo de um caso em Rondônia (RO), Brasil. **Acta Amaz.**, v. 3, n. 23, p. 395 - 409, 1999.
- ACKERMANN, G.; ALEXANDRE, F.; ANDRIEU, J.; MERING, C.; OLLIVIER, C. Dynamique des paysages et perspectives de développement durable sur La petite cote et dans de delta du Sine-Saloum (Sénégal). **Vertigo**, v.2, n. 7, p. 1 -18, 2006.
- BIGARELLA, J.J. **Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. Boletim Geográfico.** (Transcrição de Arquivos de Biologia e Tecnologia. Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. Curitiba, 1946). v.1. n. 55, p. 747-779, 1947.
- BIGARELLA, J. J. Contribuição ao estudo da planície litorânea do estado do Paraná. *Brazilian Archives of Biology and Technology, Jubilee Volume 1946- 2001*), p. 65-110. 2001. (Artigo original: **Boletim Geográfico**, 1947), n. 55, p. 747 - 779, 2001.
- BITTENCOURT. A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN. L; FERREIRA, Y. A. Dados preliminares sobre a evolução do delta do rio São Francisco (SE;AL) durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. **In: K. Suguio et al.** (eds.), *Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil*, Rio de Janeiro, p. 49-68, 1982.
- BRASIL. Medida provisória Nº571, de 25 de maio de 2012 que altera a Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 maio 2012. Disponível em:
< <http://www2.camara.gov.br/legin/fed/medpro/2012/medidaprovisoria-571-25-maio-2012-613083-publicacaooriginal-136207-pe.html> >. Acesso em: 15 out. 2012.
- CARVALHO, E.V.T., ZAGAGLIA, C.R., FERREIRA, E. Avaliação de áreas de mangues e *apicuns*, nos anos de 1938 e 2004, localizados na Ilha de Santa Catarina. **Anais...** In.: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Florianópolis, Brasil, 2007.
- CINTRÓN, G.; LUGO, A.E.; POOL, D.J.; MORRIS, G. Mangroves of Arid Environments in Puerto Rico and Adjacent Islands. **Biot.**, v. 10, n. 2, p. 110 – 121, 1978.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducción a la ecología del manglar**. Montevideo: UNESCO-ROSTLAC. 1983.

CONESA, H.M.; MARÍA-CERVANTES, A.; ÁLVAREZ-ROGEL, J.; GONZÁLEZ-ALCARAZ, M.N. **Influence of soil properties on trace element availability and plant accumulation in a Mediterranean salt marsh polluted by mining wastes: Implications for phytomanagement**. *Science of the Total Environment* 409 (2011) 4470–4479. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.07.049. 2011.

DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. Evolução paleogeográfica do delta do rio Jequitinhonha durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. In: K. Suguio et al. (eds.), *Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil*, Rio de Janeiro, p. 69-82. 1982

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

FERREIRA, T. O.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X. L.; MACIAS, F. Are mangrove forest substrates sediments or soils? A case study in Southeastern Brazil. *Catena*, v. 70, p. 79 – 91, 2007.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **A zona costeira do Estado do Ceará: compartimentação geoambiental e antropismo**. Fortaleza, 2009, p. 77.

HADLICH, G. M.; CELINO, J. J.; UCHA, J. M. Diferenciação físico-química entre *apicuns*, manguezais e encostas na Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil. *Geociênc. (São Paulo)* [online]. v.29, n.4, p. 633 - 641, 2010.

HADLICH, G. M.; UCHA, J. M.; OLIVEIRA, T. L. de. Distribuição de *apicuns* e de manguezais na Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. *Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30, p. 4607 - 4614, 2009.

HADLICH, G. M.; UCHA, J. M.; CELINO, J. J. *Apicuns* na Baía de Todos os Santos, Bahia: distribuição espacial, descrição e caracterização física e química. In: QUEIROZ, A. F. de S.; CELINO, J. J.. (Org.). **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. 1 ed. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008, p. 59 - 72.

HAJU, S. **Ecological Importance of Mangrove Trees – The example of *Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lamk. (Rhizophoraceae)**. Doc. 2007. Disponível em: http://www.envfor.nic.in/news/aprjun05/ecological_mang.pdf . Acesso em: 15.out. 2012

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Diagnóstico da Carcinicultura no Estado do Ceará**. DIPRO/DILIQ/DIFAPE/GEREX-CE. Brasília - DF, v. 1, v. 2 (Mapas), p. 177, 2005.

KOEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Economica, Pánuco, p. 478, 1948.

LABOMAR/SEMACE. Mapeamento as unidades geoambientais da zona costeira do Estado do Ceará. **Programa: Zoneamento Ecológico e Econômico da zona costeira do Ceará**. 2005, p. 226.

LANA, P. C. **As marismas da Baía de Paranaguá: características gerais, modos de apropriação e implicações para a legislação ambiental. Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Editora UFPR, n. 8, p. 11 – 23, 2003.

LEBIGRE, J. M. **Les marais à mangrove et lês tannes**. 2007. Disponível em: < http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/geographie/d/les-marais-a-mangrove-et-les-tannes_683/c3/221/p5/ >. Acesso em: 29 agosto. 2012.

LEBIGRE, J.M. Natural spatial dynamics of mangals through their margins: diagnostic elements. **Hydrobiologia**, 413: 103–113. 1999. doi:10.1023/A:1003894927650.

LEBRIGRE, par J.-M. Les tannes, approche géographique. *Mad. Rev. Géol.* n. 43, 1983.

MACIEL, N. C. Alguns aspectos da ecologia do manguezal. In: CPRH - Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração de Recursos Hídricos. Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste. Recife: CPRH, (Série Publicações Técnicas, n. 003). p. 9-37. 1991.

MARCHAND, C., LALLIER-VERGÈS, E., AND ALLENBACH, M. Redox conditions and heavy metals distribution in mangrove forests receiving effluents from shrimp farms (Teremba Bay, New Caledonia). **J. Soils Sediment**. 11: 529–541. 2011. doi:10.1007/s11368-010-0330-3.

MARIUS C.; ARCHANJO D.; LARQUE P. **Les sols de mangroves de la baie de Vitória (Brésil)**, Cah. ORSTOM. & Pédol., v. 23, n. 3, p. 211 – 216, 1987.

MARIUS, C. Mangroves du Senegal et de la Gambie: ecologie – pédologie – géochimie, mise en valeur et aménagement. Paris: ORSTOM. (**Collection Travaux et Documents**, 193). 1985.

MARQUES, A.G.B.; FERREIRA, T.O.; NÓBREGA, G.N.; ROMERO, R.E. ; SOUZA JUNIOR, V.S.; MEIRELES, A.J.A.; OTERO, X.L. Soil genesis on hyper Saline tidal flats (*apicum* ecosystem) in a tropical semiarid estuary (Ceará, Brazil). **Soil Research**, 2014a. <http://dx.doi.org/10.1071/SR13179>

MARQUES, A.G.B; FERREIRA, T.O.; CABRAL, R.L.; NÓBREGA, G.N.; ROMERO, R.E.; MEIRELES, A.J.A.; OTERO, X.L. Hypersaline tidal flats (*Apicum* ecosystems): The weak link in the tropical wetlands chain. **Environmental Reviews**, 2014b. Doi: 10.1139/er-2013-0026

MARQUES, A. G. B.; NÓBREGA, G. N.; PEREZ, X. L. O.; MEIRELES, A. J. A.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O. Gênese e classificação de solos de *apicum* do Nordeste brasileiro. **Anais...** XIX Congreso Latino Americano de la Ciencia del Suelo; XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina, 2012, p. 6.

MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; THIERS. Impactos ambientais das atividades de carcinicultura no ecossistema Manguezal do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Número Especial 2: Manguezais do Brasil. **Rev. da Gestão Cost. Integ.**, v. 2, p. 1 - 11, 2010.

MEIRELES, A. J. DE A.; CASSOLA, R. S.; TUPINAMBÁ, S. V.; QUEIROZ, L. S. Impactos ambientais decorrentes das atividades da carcinicultura ao longo do litoral cearense, Nordeste do Brasil. **Mercator- Rev. de Geog. da UFC**, v. 6, n. 12, 2007.

MEIRELES, A. J. A.; GORAYEBE, A.; THIERS. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Mercator- Rev. de Geog. da UFC**, v. 8, p. 109-134, 2005.

MEIRELES, A. J. A. Análise dos impactos ambientais originados pelas atividades de carcinicultura na área de influência direta da comunidade indígena Tremembé – Distrito de Almofala – Itarema/CE. UFC, Fortaleza, 2004, 38 p. (**Parecer Técnico**).

MEIRERES, A. J. A.; RAVENTOS, J. S. I. Um modelo geomorfológico integrado para a planície costeira de Jericoacoara/ Ceará. **Mercator- Rev. de Geog. da UFC**, v. 1, n. 1, 2002.

MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J. G.. **Wetlands**. Van Nostrand Reinhold. New York. 1993.

NASCIMENTO, S. Estudo da importância do “*apicum*” para o ecossistema de manguezal. **Relatório Técnico Preliminar**. Sergipe, Governo do Estado do Sergipe, 1999, p. 27.

NASCIMENTO, S. A. **Biologia do caranguejo-uçá**. ADEMA. Aracajú - SE, 1993.

PELLEGRINI, J. A. de C. 2000. **Caracterização da planície hipersalina (*apicum*) associada a um bosque de mangue em Guaratiba, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro – RJ**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000, p. 114

PENNINGS, S.C.; RICHARDS, C.I. **Effects of wrack burial in salt-stressed habitats: *Batis maritima* in a southwest Atlantic salt marsh**. *Ecography*, Copenhagen. v. 21, p. 630-638, 1998.

PORADA, H.; ERIKSSON, P. G. **Cyanobacterial mat features preserved in the siliciclastic sedimentary record: Paleodeserts and modern supratidal flats**. In: J. Seckbach and M. Walsh (editors) *From Fossils to Astrobiology; Records of Life on Earth and Search for Extraterrestrial Biosignatures*. Springer, Berlin, p. 181-210. 2009.

PORTUGAL, A. M. M. **Manguezais de Guaratiba frente à perspectiva de elevação do nível médio relativo do mar, Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro – Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, SP. 2002, p. 174.

ROVAI, A. S. ; MENGHINI, R. P. ; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. ; CINTRON, G. ; COELHO-JR, C. . Protecting Brazil's Coastal Wetlands. **Science Magazine** (Paris), v. 335, p. 1571-1572, 2012.

RIDD, P.V.; SAM, R. Profiling groundwater salt concentrations in mangrove swamps and tropical salt flats. **Est. C. and Self Sc.**, 43: p. 627 – 635, 1996. Doi: 10.1006/ecss.1996.0092

RIDD, P. V.; SAM, R.; HOLLINGS S.; BRUNSKILL, G. Water, salt and nutrient fluxes of tropical tidal salt flats. **Mang. and Salt Marshes**, v. 1, p. 229 – 238, 1997.

RIDD, P.V.; STIEGLITZ, T. Dry Season Salinity Changes in Arid Estuaries Fringed by Mangroves and Saltflats. **Est., Coastal and Shelf Science**, n. 54, p. 1039 – 1049, 2002. Disponível em: < <http://www.idealibrary.com>>. doi:10.1006/ecss.2001.0876

ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A. Solos de mangue do Estado de São Paulo: Caracterização química e física. **R. Depart. Geog.**, v. 15, p. 1001- 113. 2002.

RUIVO, M. L. P.; AMARAL, I. G.; GUEDES, A. L. S; RIBEIRO, E. L. C. Os solos de uma topossequência na Ilha de Algodoal/Maiandeuá, nordeste do estado do Pará, Brasil: composição química e produção de matéria orgânica. **Ac. Amazôn.**, v. 32, n. 2, p. 257 - 266, 2002.

RUIVO, M. L. P.; AMARAL, I. G.; FARO, M. P. S.; RIBEIRO, E. L. C.; GUEDES, A. L. S.; SANTOS, M. M. L. Caracterização química da matéria orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo em uma topossequência na Ilha de Algodoal/Maiandeuá, PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, Belém, v.1, n.1, 2005.

SADIO, S. **Pédogenèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine Saloum, Sénégal**. 1989. Landbouw universiteit, Wageningen, 270 p. Proefschrift van de Landbouwuniversiteit te Wageningen. Disponível em http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-04/35011.pdf. Acesso em: 30 agosto. 2012

SAM, R., RIDD, P. V. Spatial variations of groundwater salinity in a mangrove-saltflat system, Cocoa Creeks, Australia. **Mang. and Salt Marshes** 2, p. 121–132. 1998. Doi:10.1023/A:1009919411508

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Perfil dos Ecossistemas Litorâneos Brasileiros com Especial Ênfase sobre o Ecossistema Manguezal**. Publicação Especial, Instituto Oceanográfico São Paulo, n. 7. p. 1-16, 1989.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON-MOLERO, G.; ADAIME, R. R.; CAMARGO, T. M. Variability of Mangrove Ecosystems Along the Brazilian Coast. **Estuaries**. v. 13, n. 2. p. 204-218, 1990.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Manguezal, marisma e *apicum* (**Diagnóstico Preliminar**). In: Fundação BIO - RIO; Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Pará - SECTAM; Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte - DEMA; Sociedade Nordestina de Ecologia - SNE [et al]. (Org.). Avaliações e ações prioritárias para conservação da biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha. Brasília: MMA/SBF, p. 119, 2002.

SCHMIDT, A.J. **Estudo da dinâmica populacional do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea-Decapoda-Brachyura), e dos efeitos de uma mortalidade em massa desta espécie em manguezais do Sul da Bahia**. M.Sc. Tese, Departamento de Oceanografia, universidade de Sao Paulo, Sao Paulo. 2006

SNEDAKER, S.C. Mangroves and climate change in the Florida and Caribbean region: scenarios and hypotheses. **Hydrobiologia**, n. 295: p. 43-49, 1995.

UCHA, J. M.; HADLICH, G. M.; CELINO, J. J. *Apicum*: transição entre solos de encosta e manguezais. 2008. **Rev. Edu, Tec e Cult**, p 58-63. Disponível em: <http://www.nea.ufba.br/apicum/UCHA_ETC2008.pdf>. Acesso em 10 jan. 2012.

UCHA, J. M.; SANTANA, P. S.; GOMES, A. S. R.; BARRETO, E. DO N.; VILAS-BOAS, G. S.; RIBEIRO, L. P. *Apicum*: gênese nos campos arenosos e degradação dos manguezais em dois municípios baianos. **Rev. Edu, Tec e Cult**, v. 3, p. 26-27, 2004.

VANNUCCI, M. **Os manguezais e nós: uma síntese de percepções**. 2 ed. Revisada e ampliada. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2003

VENDRAMINI, E.Z. 1986. **Distribuições probabilísticas de velocidades do vento para a avaliação do potencial energético eólico**. Botucatu: UNESP, Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 1986. p. 110.

VIEILLEFON, J. **Les sols des mangroves et des tannes de Basse-Casamance (Senegal). Importance du comportement géochimique du soufre dans leur pédogenese**, *ORSTOU, Mem. n. 83*, p. 291. 1977.

VIEILLEFON, J. **La pédogénèse dans les mangroves tropicales. Un exemple de chronoséquence**. 1969. p. 114 - 149.

VILAS BOAS, G. S.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. The Barreiras Group in the Northeastern coast of the State of Bahia, Brazil: depositional mechanisms and processes. **An. Acad. Bras. Ciênc.** v.73, n.3, p. 417-427, 2001.

WMO. World Meteorological Organization. World Weather Information Service. 2012. Disponível em: <<http://www.worldweather.org/>>. Acesso em 29 out. 2012.

WOLANSKI, E. **Oceanographic processes of coral reefs. Physical and Biological Links in the Great Barrier Reef**, CRC Press LLC, 2001, p. 353.

ZACK, A.; ROMÁN-MAS, A. Hydrology of the Caribbean Island Wetlands. **Ac. Cient.**, 2(2-3), p. 65-73, 1988.

CAPITULO 2

Caracterização e Gênese de Solos Hipersalinos do Estuário do Rio Pacoti-CE

RESUMO

A zona costeira possui ecossistemas que desempenham importante papel ecológico, social e econômico. Os *apicuns*, assim como os manguezais, são unidades fisiográficas encontradas em quase toda costa brasileira, no entanto mesmo sendo ecossistemas contíguos possuem diferenças tanto na vegetação quanto nas características físicas e químicas de seus solos. Sabe-se que a gênese destes solos está diretamente correlacionada com as condições de aridez e/ou semiaridez e com o aporte de sedimentos que contribuem para o aumento do nível topográfico e da salinidade. Nesse contexto, poucos são os estudos voltados ao entendimento de seus solos e diante disto, esse trabalho objetiva promover maior conhecimento sobre a evolução desse ambiente estuarino, com enfoque principal na caracterização dos processos que regem a pedogênese. Foram realizadas análises morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas em três perfis classificados como *Gleissolo Sálco Sódico típico* do estuário do rio Pacoti- Aquiraz (CE). Os solos estudados possuem cores neutras (gleização), estrutura com baixo grau de desenvolvimento, predomínio de areia, de forma que no fracionamento dessa fração foi quantificada grande quantidade de areia fina e muito fina, salinidade elevada ($CE > 17 \text{ dS.m}^{-1}$ em P1; $> 26 \text{ dS.m}^{-1}$ em P2 e $> 32 \text{ dS.m}^{-1}$ em P3), refletida na elevada quantidade de bases ($\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{H}^+ + \text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$) no sentido P1→P3. A morfoscopia e micromorfologia mostram grãos bem selecionados de areia, com exceção da porção mais baixa do relevo, presença de quartzo, feldspato, biotita, muscovita, ilmenita, monazita e turmalina. Assim, os dados sugerem que a gênese dos solos, do *apicum* em estudo, é regida pelo relevo, pela atividade de maré e por mais de uma fonte de deposição mineral na porção mais baixa do *apicum*.

Palavras-chave: *Apicum*. Morfoscopia. Micromorfologia.

ABSTRACT

The coastal area has ecosystems that play important ecological, social and economic role. The *apicuns*, like mangroves, are physiographic units found in almost all Brazilian coast, but even being contiguous ecosystems have differences in both the vegetation and in the physical and chemical characteristics of their soils. It is known that the genesis of these soils is directly correlated with the condition of dryness and / or semi arid and the amount of sediments that contribute to increase the topographical level and salinity. In this context, there are few studies aimed at understanding its soils. Thus, this work aims to promote better understanding of the evolution of this estuarine environment, with primary focus on the characterization of the processes governing the pedogenesis. Morphological, chemical, physical and mineralogical analyzes were carried out in three profiles classified as *Gleissolo Sálido Sódico típico* estuary Pacoti- Aquiraz (CE). The soils have neutral colors (gley), structure with a low degree of development, sand predominance, so that in the fractionation of this fraction was quantified lot of fine sand and very thin, high salinity ($EC > 17 \text{ dS.m}^{-1}$ in P1; $> 26 \text{ dS.m}^{-1}$ in P2 and $> 32 \text{ dS.m}^{-1}$ in P3) reflected in the high amount of bases ($\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{H}^+ + \text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$) in the direction P1 \rightarrow P3. Morphoscopy and micromorphology show grains of sand well selected, except for the lower portion of the relief, presence of quartz, feldspar, biotite, muscovite, ilmenite, monazite and tourmaline. Thus, the data suggest that the genesis of the soil, of the apicum studied is governed by the relief, by the activity of tide and by more than a source of mineral deposition in the lower portion of the *apicum*.

Keywords: Hypersaline tidal flat. Morphoscopy. Micromorphology.

1 INTRODUÇÃO

O litoral cearense, bem como grande parte da costa brasileira, tem forte influência da interação das variações dos fatores climáticos e eustáticos, e da dinâmica dos sedimentos de origem continental e/ ou marinhos quaternários dando origem à Formação Barreiras (PINHEIRO, 2009; BRANCO; LEHUGEUR; CAMPOS, 2003) e a uma extensa planície costeira composta por faixa praial, terraços marinhos e planície fluviomarinha (MEIRELES *et al.*, 2005).

Além disso, a zona costeira cearense possui extensão de 572 km (TSOAR *et al.*, 2009), com presença de vastas dunas com alturas de 13-25 m (CASTRO, 2005) que podem contribuir para a gênese de solos estuarinos (por exemplo, em manguezais e *apicuns*).

Acreditava-se que a movimentação das dunas tinha apenas influencia das chuvas, e especificamente no Nordeste brasileiro quando a precipitação pluvial ultrapassava 400 mm, favorecia a sua estabilização pela fixação de vegetação (TSOAR *et al.*, 2009). No entanto, atualmente se sabe que este processo de movimentação de dunas está também correlacionado diretamente com a intensidade da energia eólica no ambiente estuarino (TSOAR *et al.*, 2004; REINECK; SINGH, 1975).

Assim, dependendo da orientação dos ventos, sedimentos provenientes das dunas podem aportar ou até mesmo soterrar importantes ecossistemas como, por exemplo, os manguezais (MEIRELES *et al.*, 2007). Nesse caso, o termo *apicum* refere-se ao ambiente localizado na porção mais elevada da planície fluviomarinha (MARQUES *et al.*, 20014a; SCHAEFFER-NOVELLI, 2002). Isto favorece a elevação do nível topográfico do relevo local (*“upbuilding”*) e aprisionamento de água marinha no período de marés de sizígia, originando uma zona hipersalina denominada *apicum* (MARQUES *et al.*, 2014b). Esta alteração no relevo também permite, em parâmetros pedológicos, que o solo não fique em constante estado de hidromorfismo, e favoreça a formação de feições redoxmórficas (*“redoximorphic features”*), relacionadas à precipitação de óxidos de ferro na forma de mosqueados (VEPRASKAS; RICHARDSON; TANDARICH, 2006).

O processo consiste na transformação do ferro para o estado reduzido (Fe^{2+}), de forma que este íon fique solubilizado e, conseqüentemente, mobilizado na solução do solo até zonas de oxidação. Neste caso, o ferro retorna a Fe^{3+} ,

precipitado na forma de óxidos de ferro em uma matriz de coloração neutra (“*redox depletions*”; VEPRASKAS, 1992).

Além disso, essas planícies hipersalinas possuem uma grande importância para o sistema manguezal, pois representam uma área estratégica para recuo do mangue no caso de um aumento do nível do mar (PORTUGAL, 2002). Isto porque, em épocas que a precipitação é mais elevada, promove a diluição dos sais no solo, permitindo que o *apicum* seja recolonizado por espécies típicas de mangue (HADLICH; CELINO; UCHA, 2010).

Assim, percebe-se que há uma intensa dinâmica na formação dos solos estuarinos, e no caso deste estudo, o *apicum* deve possuir influência direta das dunas em sua gênese. Isto também terá reflexo nas características morfológicas, químicas e físicas de seus solos. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo promover um maior conhecimento sobre a evolução deste ambiente estuarino.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

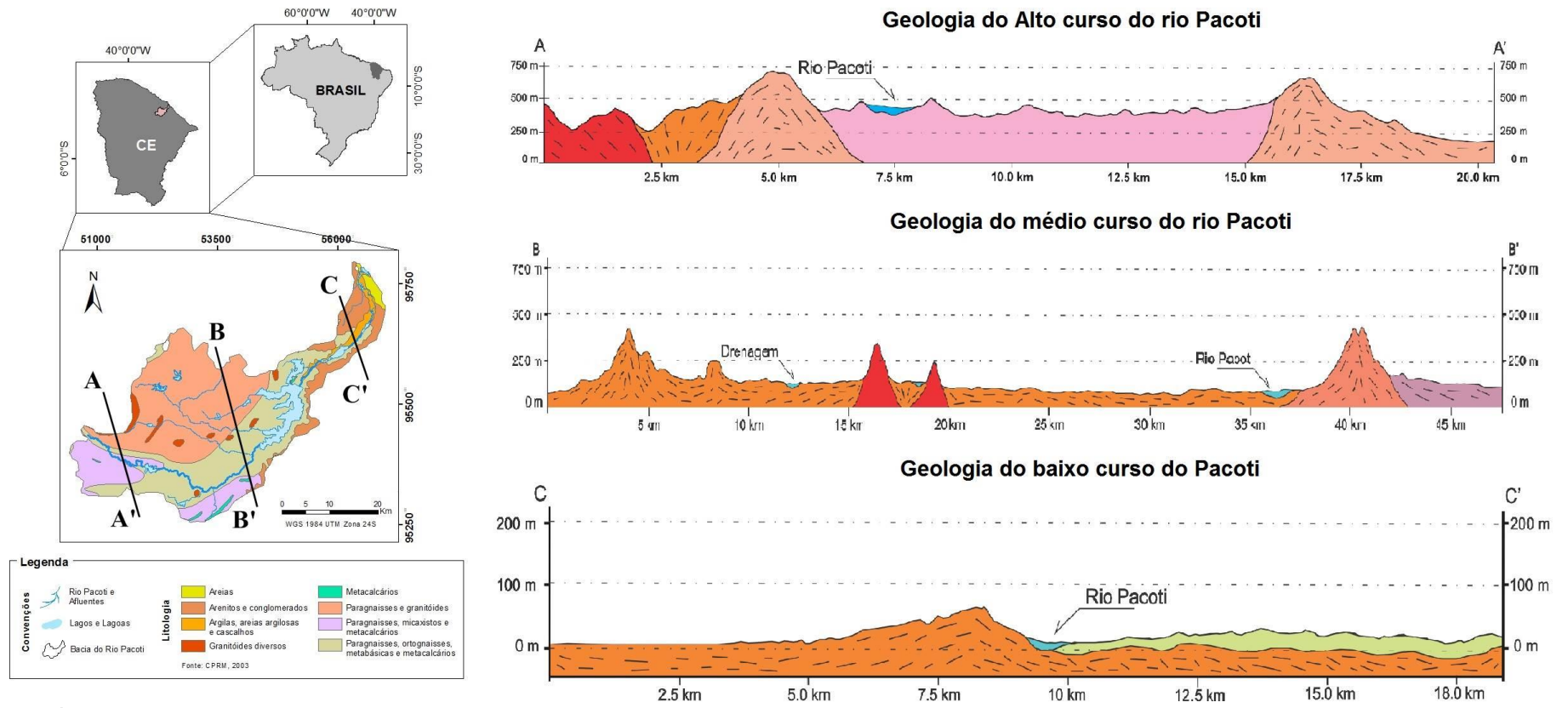
Foram selecionados três pontos localizados em uma área de *apicum* localizado no estuário do rio Pacoti (Figura 1), litoral Leste do Estado do Ceará, no município de Aquiraz.

As principais nascentes do rio Pacoti encontram-se na cidade homônima, localizada no Maciço de Baturité a cerca de 850m de altitude, com curso de 130 Km e extensão de 1800 Km (CEARÁ, 1994). O alto e médio curso do rio é inserido, em sua maior parte, em terrenos com predomínio de gnaisses; migmatitos, quartzitos, micaxistos, metacalcários e associações com rochas graníticas (Figura 1; CEARÁ, 2011). Já a foz, localiza-se no baixo curso do rio Pacoti, é limitada por três municípios: Eusébio, Fortaleza (praia da Cofeco) e Aquiraz (Porto das Dunas), de forma que a sub-bacia do baixo Pacoti fica inserida na bacia Metropolitana de Fortaleza. Assim, é considerado um dos maiores cursos de água, tornando-se um dos principais responsáveis pelo abastecimento de água na região metropolitana de Fortaleza, uma vez que este rio tem capacidade de abastecimento em torno de 380 milhões de m³ (CEARÁ, 2009).

Em relação aos componentes geoambientais do estuário do rio Pacoti, destacam-se os Tabuleiros Costeiros e a Planície Litorânea composta por faixas de praia e pós-praia, com a presença de *beach rocks*, planície fluviomarinha e campo de dunas (BARRA *et al.*, 2014; GORAYEB *et al.*, 2004; GORAYEB, 2003; PINHEIRO, 2009).

Destaca-se o constante transporte e acumulação de sedimentos marinhos na faixa de praia responsáveis pela formação de campos de dunas móveis (GORAYEB *et al.*, 2004), onde o principal agente de transporte é o vento, com direção Leste para Nordeste (GORAYEB *et al.*, 2004) e velocidade anual variando de 3m.s⁻¹ a 9m.s⁻¹ (MAIA *et al.*, 1998). Este aspecto contribui, regionalmente, para a formação de solos classificados como Neossolos Quartzarênicos distróficos.

Figura 1- Geologia da bacia hidrográfica do rio Pacoti- CE.



Fonte: Autora.

Nos Tabuleiros, há um acréscimo na quantidade de argila, contribuindo para a formação de Argissolos (GORAYEB *et al.*, 2004; GORAYEB, 2003). Já na planície fluvio-marinha são poucos os relatos a respeito da classificação de seus solos, de forma que, especificamente, nos domínios de mangues, há predomínio de Gleissolos (PINHEIRO, 2009).

2.2 Procedimentos: campo

Os três perfis de solo foram selecionados conforme as características topográficas (Tabela 1) do referido estuário. Posteriormente, a descrição morfológica e coleta dos solos foram realizadas conforme metodologia descrita em Santos *et al.* (2013).

Tabela 1 – Posição dos pontos de coleta de solo no estuário do rio Pacoti - CE

Perfil	Posição na paisagem	Altitude m*	Coordenadas UTM	
P1	Topo - zona mais distante do ponto de entrada da maré	8,3	564131	9586043
P2	Meia encosta - zona intermediária com maior atividade da vegetação	8,0	564171	9576468
P3	Encosta inferior - zona mais próxima à entrada da maré e do mangue	7,7	564131	9576722

* em relação ao nível do mar (n.m).

Desta forma, cada perfil foi subdividido em horizontes, onde foram descritas as características morfológicas e foram coletadas amostras para a realização das análises químicas e físicas de rotina.

Foram selecionadas três áreas (Tabela 1) para determinação da topografia da área de estudo, e em cada uma foram determinados 20 pontos, e de cada ponto, coletaram-se as coordenadas x e y no formato UTM. Posteriormente estas coordenadas foram transferidas para um aparelho GPS para serem alocadas em campo. Com os pontos já estabelecidos, foi realizado o levantamento altimétrico, fazendo uso de um nível topográfico e na confecção do mapa topográfico foi

utilizada a técnica do inverso do quadrado da distância para interpolação dos pontos.

A análise estrutural foi realizada conforme metodologia proposta por Boulet (1988) e com auxílio dos dados topográficos (comprimento, altimetria e declividade). Foram realizadas tradagens para a análise morfológica, com o intuito representar bidimensionalmente o solo na topossequência.

2.3 Procedimentos: analíticos

Em laboratório as amostras foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas e submetidas ao pré-tratamento de eliminação do excesso de sais solúveis, em que as amostras para análise de rotina foram lavadas com álcool etílico 60% (v/v) para remoção dos sais (BOWER *et al.*, 1952; SUMNER; MILLER, 1996) até a ausência de cloretos. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, após a eliminação da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (GEE; BAUDER, 1986), com dispersão química utilizando hexametáfosfato de sódio ($NaPO_3$)₆ 0,015 mol L⁻¹ e agitação mecânica horizontal.

A determinação do carbono orgânico (CO) foi realizada empregando-se o método de Walkley & Black (NELSON; SOMMERS, 1982), utilizando o princípio da oxidação da matéria orgânica (via úmida) com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol.L⁻¹) e titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,25 mol.L⁻¹);

A condutividade elétrica (CE) foi obtida a partir da pasta de solo saturada com água destilada (RHOADES, 1996) e leitura em medidor de condutividade. Além disso, foi determinado pH (1:2,5 sólido/líquido) pelo método do efeito do eletrodo combinado.

Acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) foi determinada por extração com solução de acetato de cálcio (0,5 mol L⁻¹) a um pH de 7 (QUAGGIO *et al.*, 1985). A extração do K^+ e Na^+ foram realizadas com 0,05 N HCl + 0,025 N H_2SO_4 (Mehlich I; MEHLICH, 1953), e Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos com KCl 1 M (1:10 solo/solução). Os cátions foram determinados por fotometria de chama (K^+ e Na^+), espectrofotometria de absorção atômica (Ca^{2+} e Mg^{2+}), e por titulação com uma solução de NaOH padrão (Al^{3+}). A capacidade de troca de cátions (CTC) foi calculada como a soma de cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , e $H^+ + Al^{3+}$; SUMNER; MILLER, 1996).

O carbonato de cálcio equivalente foi obtido pelo método da AOAC (AOAC, 1970) e Metson (1956).

Quanto a morfoscopia, após a análise granulométrica das profundidades 0-7 cm e 34-45 cm em P1, 0-4 cm e 34-50 cm em P2 e 0-10 cm e 25-30 cm em P3, foi separada a fração areia nos três perfis estudados, com posterior fracionamento (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993): areia muito grossa (2 - 1 mm), areia grossa (1 - 0,5 mm), areia média (0,5 - 0,25 mm), areia fina (0,25 - 0,1 mm) e areia muito fina (0,1 - 0,05 mm). Foi realizada a análise morfoscópica mediante seleção de 100 grãos de areia com auxílio de uma lupa binocular sobre todas as frações obtidas e, comparadas com a tabela proposta por Powers (1953).

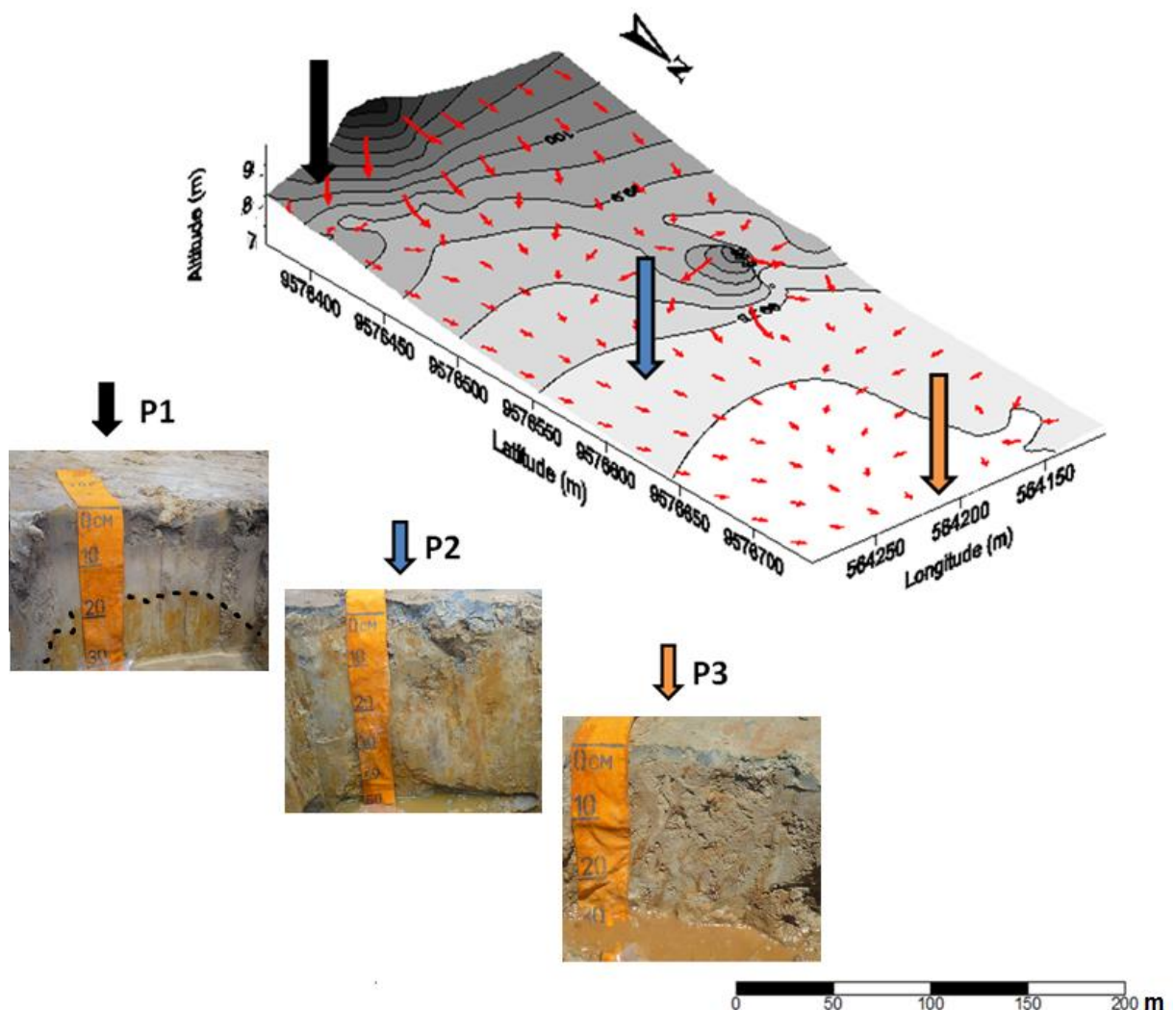
Após o fracionamento da areia foram calculados alguns parâmetros estatísticos (Análise phi ϕ ; FOLK; WARD, 1957) como média gráfica (M_z), desvio padrão (ϕ_l), grau de seleção e assimetria (SK_1) e curtose (K_G). Para tanto, os limites de Atterberg (mm) foram transformados para a escala phi de Krumbein (1934) a partir da equação $\phi = -\log_2 D$, em que D é o diâmetro do grão (mm). Assim a conversão ficou da seguinte forma: $\phi = -1$ a 0 (areia muito grossa), $\phi = 0$ a 1 (areia grossa), $\phi = 1$ a 2 (areia média), $\phi = 2$ a 3,32 (areia fina), $\phi = 3,32$ a 4,24 (areia muito fina). Foi utilizado o programa para microcomputador PHI (JONG VAN LIER; VIDAL-TORRADO, 1992) nessa análise.

Posterior à análise de morfometria, foi determinada a mineralogia da fração areia com auxílio de lupa binocular. Em relação à micromorfologia, amostras de solo com estrutura indeformada de horizontes superficial (P2: 0-12 cm) e subsuperficial (P3: 16-30 cm) foram coletas em caixas de Kubiena (papelão com dimensões 10 x 6 x 5 cm). Após a coleta, as amostras passaram por um pré-tratamento que consistiu na troca de água por acetona para evitar que a amostra fosse danificada quando a água entrasse em contato com a resina (EMBRAPA, 2002). Utilizou-se resina (poliéster) e um catalisador, conferindo resistência para manter sua estruturação original na confecção das lâminas (3 cm x 4,5 cm). Os cortes foram analisados em microscópio de polarização com câmera acoplada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A intensa atividade de subida e descida do lençol freático, nos três perfis de *apicum* estudados influencia diretamente nas características morfológicas destes solos (Tabela 2). Assim, foram verificadas cores neutras (Figura 2), típicas de gleização, e presença de mosqueados indicando a constante movimentação da altura do lençol freático nesta região.

Figura 2 – Localização dos perfis na planície fluviomarinha, mostrando como o microrelevo pode afetar na variabilidade morfológica dos solos.



Fonte: Autora.

Tabela 2 – Dados morfológicos dos perfis de solos estudados no *apicum* do estuário do rio Pacoti-CE

Horizonte	Prof. cm	Cor Munsell	Mosqueados ^a		Estrutura ^b	Consistência ^c	Transição ^d	Areia total	Areia Grossa*	Areia Fina*	Silte	Argila	Textura ^e
			Cor	Quant./Tam/Cont									
<i>P1- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>													
Agnk	0 – 7	7,5 YR 5/1	7,5YR 6/8	p/pe/F	m	M/mf/np/npj	C/PN	67,60	25,15	42,45	15,60	16,80	Fa
2Cgnk1	7 – 23	10YR 6/1	7,5YR 6/8	c/me/F	m	M/mf/np/npj	C/PN	84,20	47,05	37,15	9,94	5,86	Af
3Cgnk2	23 – 34	10YR 7/2	7,5YR 6/8	a/gr/D	m	LD/fr/lp/lpj	C/PN	68,55	24,90	43,65	17,15	14,30	Fa
3Cgnk3	34 – 45+	10YR 7/2	7,5YR 6/8	a/gr/D	m	LD/f/lp/lpj	-	75,95	37,40	38,55	15,29	8,76	Af
<i>P2- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>													
Agnk	0 – 4	10YR 6/1	7,5YR 5/8	c/me/D	m	M/mf/np/npj	C/PN	87,05	37,25	49,80	6,37	6,58	Af
Cgnk2	4 – 12	10YR 7/2	7,5YR 7/8	c/me/D	m	M/mf/np/npj	C/PN	73,70	39,90	33,80	18,86	7,44	Fa
Cgnk3	12 – 21	10YR 7/2	7,5YR 5/8	c/me/D	m	M/mf/lp/lpj	C/PN	83,45	40,55	42,90	7,63	8,92	Af
Cgn4	21 – 28	10YR 6/1	7,5YR 6/8	c/me/D	m	M/mf/lp/lpj	C/PN	83,20	38,20	45,00	7,92	8,88	Af
Cgnk5	28 – 34	10YR 7/1	7,5YR 5/8	c/me/D	m	M/mf/np/npj	C/PN	81,35	36,90	44,45	9,87	8,78	Af
Cgnk6	34 – 50+	10YR 5/2	7,5YR 7/8	a/me/D	m	M/mf/lp/lpj	-	83,00	37,65	45,35	6,36	10,64	Af
<i>P3- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>													
Agnk	0 – 10	Gley 2 7/1	-	-	m	M/mf/lp/lpj	C/PN	86,65	32,60	54,05	6,39	6,96	Af
2Cgnk1	10 – 19	10YR 6/2	10YR 6/8	a/pe/D	m	M/mf/lp/lpj	C/PN	80,90	37,55	43,35	8,58	10,52	Af
2Cgnk2	19 – 25	Gley 1 7/N	10YR 6/8	a/pe/P	m	LD/Mf/lp/npj	C/PN	84,50	33,45	51,05	5,86	9,64	Af
2Cgnk3	25 – 30+	Gley 1 7/N	10YR 6/8	a/pe/P	m	LD;mf/lp/lpj	-	81,70	42,30	39,40	10,00	8,30	Af

*Areia grossa = areia muito grossa + areia grossa + areia média; Areia fina = areia fina + areia muito fina.

^a Quantidade: pouco (p), comum (c), abundante (a); Tamanho: pequeno(pe), médio (me), grande(gr); Contraste: fraco (F), distinto (D), proeminente (P)
^b maciça (m)

^c seca: macia (M), ligeiramente dura (LD), Úmida: muito friável (mf), friável (fr), firme (f), muito firme (Mf); Plasticidade: não plástica (np), ligeiramente plástica (lp); Pegajosidade: não pegajosa (npj), ligeiramente pegajosa (lpj).

^d Grau de transição: clara (C); Topografia: plana (PN).

^e Franco-arenosa (Fa), areia franca (Af).

Em P1, localizado na porção mais elevada da planície fluviomarinha (Figura 2), há uma intensa formação de mosqueados a partir dos 20 cm de profundidade, o que indica um ambiente mais favorável à oxidação do ferro (Figura 2), devido à menores frequências e duração de inundação.

Este processo de oxi-redução que permite a formação dos mosqueados, fica mais acentuado em P2 (Figura 2), favorecido pelo maior aporte de água quando comparado com o perfil mais elevado no relevo (P1).

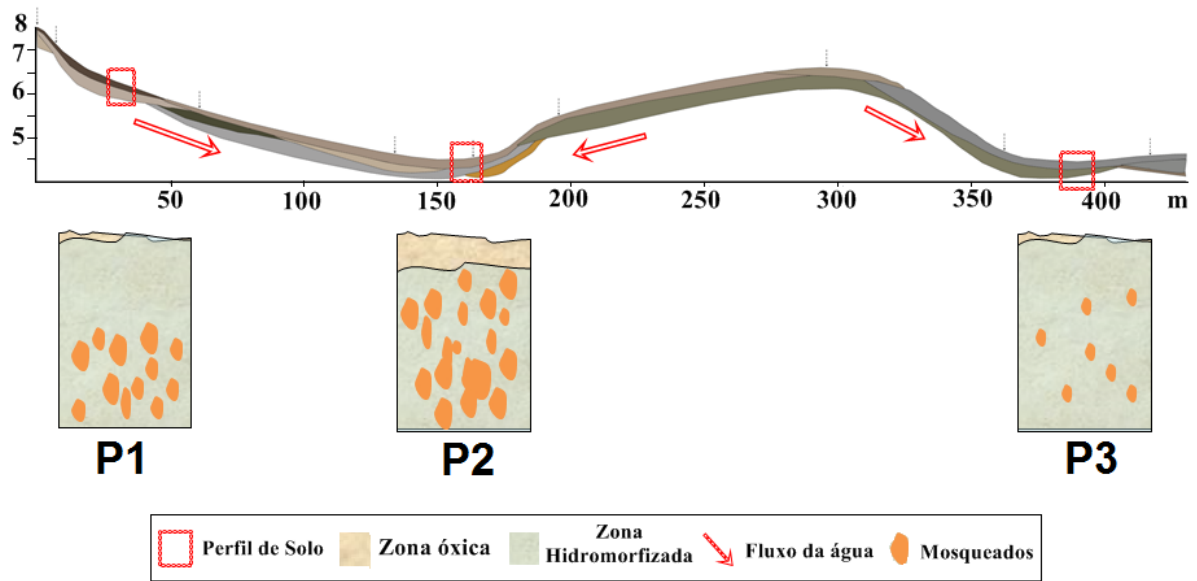
De fato, observa-se que o sentido do fluxo da água, e principalmente por ter maior proximidade com a água do mar, indica a tendência de haver maior participação da água no P3 (Figura 2). Considerando que não chove em grande parte do ano (maio a dezembro; IPECE, 2007), a oscilação do lençol freático depende, em grande parte, do regime de marés.

A quantidade de mosqueados aumenta de P1 para o P2 (Figura 2), e decresce em P3. O primeiro perfil por se encontrar na porção mais elevada do relevo (8,3 m n.m.), tende a ter menor contato com a água do mar. Alguns estudos mostram a influencia do mar na salinização das águas subterrâneas (WANG; JIAO, 2012; KIM *et al.*, 2003).

Em P2 (8,0 m n.m.), o fluxo de água é maior, quando comparado com P1, favorecendo a formação de mosqueados em praticamente todo o perfil. Já no P3 localizado em posição mais baixa do relevo (7,7 m n.m.), recebe praticamente toda água da topossequência, bem como água proveniente do mar. Isto dificulta a formação dos mosqueados e favorece o surgimento de cores acinzentadas (Gley, 2 7/1; Gley 7/N; Tabela 2), uma vez que o predomínio é de condições redutoras.

Quanto a estruturação, por se tratarem de solos que estão sob ação do hidromorfismo, apresentam muitas vezes com aspecto maciço (MARQUES *et al.*, 2014a) em muitos dos horizontes. Além disso, a deposição de sedimentos no *apicum* é intensa, fazendo com seus solos tenham uma evolução incipiente. Isso faz com que camadas do solos sejam constantemente recobertas (Figura 3).

Figura 3 – Análise estrutural dos solos do *apicum* em estudo.

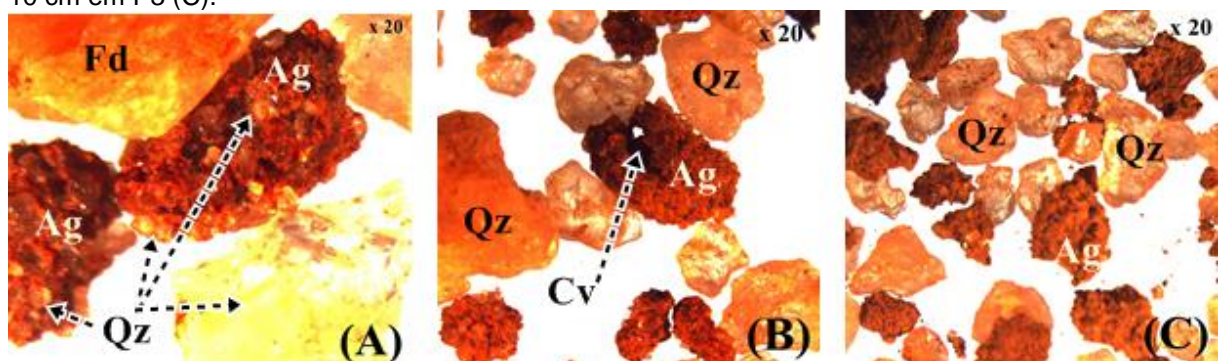


Fonte: Autora.

Pôde-se observar, entretanto, que no horizonte mais superficial de todos os perfis, há formação de pequenas unidades estruturais (Figura 4) com um grau de desenvolvimento favorecido, provavelmente, pela agregação das argilas e/ou precipitação de óxidos de ferro sobre grãos de quartzo.

Estudos realizados em ambientes alagados (XU; YU, 2013; YAO *et al.*, 2011; NEUBAUER *et al.*, 2007) indicaram a formação de placas de ferro (*iron plaque*) na rizosfera, fazendo com que o Fe^{2+} precipite na forma Fe^{3+} como óxido de ferro.

Figura 4 – Formação de pequenos agregados promovida pela floculação de argilas e/ou cimentação promovida pelos óxidos de ferro nas profundidades de 0 – 7 cm em P1 (A), 0 – 4 cm em P2 (B) e 0 – 10 cm em P3 (C).



Fonte: Autora.

Fd- feldspato, Qz- quartzo, Ag- agregado, Cv- cavidade ou antigo canal de raiz.

De fato, os agregados observados (Figura 4 A, B, C) possuem em seu interior uma cavidade que indica antiga atividade de raiz, que é possível ser percebida devido à esfericidade e o alisamento de suas paredes internas. Isto é mais evidente nas amostras de P2 (Figura 4B). Este padrão também foi observado nas demais amostras, mas com intensidade reduzida no sentido do declive (P1→P3), uma vez que se eleva o estado de hidromorfismo.

Em relação à caracterização física (Tabela 2), química (Tabela 3) e morfológica, todos os solos estudados foram classificados como GLEISSOLOS SÁLICOS Sódicos típicos, conforme Embrapa (2013).

Nota-se que há predomínio de condições propícias ao desenvolvimento do caráter sálico, referindo-se às elevadas concentrações de sais típicas de áreas de *apicum* (HADLICH, CELIONO; UCHA, 2010). De fato, o cátion predominante no complexo de troca dos três perfis é o Na^+ , seguido do $\text{K}^+ > \text{H}^+ + \text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ (Tabela 3). A dominância do Na^+ no complexo sortivo, em relação aos demais íons, deve-se à influência da cunha salina pela frequente invasão das águas oceânicas (GARRELS; CHRIST, 1965). Assim, a adição do Na^+ promove o aparecimento do caráter sódico (PST acima de 15%; EMBRAPA, 2013).

Tabela 3 – Propriedades químicas dos solos de *apicum* estudados no estuário do rio Pacoti-CE.

Horizonte	Prof. cm	CO %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	CTC	Targila	CE dS.m ⁻¹	V %	PST	m	CaCO ₃ g.kg ⁻¹	pH H ₂ O	KCl
<i>P1- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>																	
Agnk	0 – 7	1,13	3,10	1,00	39,97	22,55	2,60	66,62	69,22	41,20	29,50	96,24	57,74	0,15	58,75	7,43	6,12
2Cgnk1	7 – 23	0,50	0,30	0,80	9,75	7,11	2,60	17,96	20,56	35,09	23,68	87,35	47,42	0,55	62,40	8,44	6,27
3Cgnk2	23 – 34	0,56	0,50	2,20	19,39	9,21	2,40	31,30	33,70	23,57	20,07	92,88	57,54	0,32	59,50	8,34	6,09
3Cgnk3	34 – 45+	0,68	0,50	1,80	20,13	9,78	2,40	32,21	34,61	39,51	17,96	93,07	58,16	0,31	57,25	8,41	6,54
<i>P2- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>																	
Agnk	0 – 4	0,49	0,50	1,40	7,08	7,68	2,20	16,66	18,86	28,66	31,70	88,34	37,54	0,60	62,50	8,51	6,65
Cgnk2	4 – 12	0,46	0,50	2,00	18,64	12,73	2,60	33,87	36,47	49,02	28,62	92,87	51,11	0,29	62,50	8,38	5,94
Cgnk3	12 – 21	0,41	0,30	1,80	16,63	10,57	2,80	29,30	32,10	35,99	28,18	91,28	51,81	1,01	60,50	8,01	6,03
Cgn4	21 – 28	0,54	0,30	1,20	17,58	10,02	2,80	29,10	31,90	35,92	27,73	91,22	55,11	0,34	48,75	7,93	5,69
Cgnk5	28 – 34	0,62	0,70	1,00	16,31	10,51	2,80	28,52	31,32	35,67	26,85	91,06	52,08	1,04	59,75	8,04	5,87
Cgnk6	34 – 50+	0,61	0,30	1,20	16,54	10,35	2,90	28,39	31,29	29,41	28,62	90,73	52,86	1,05	57,50	8,13	5,80
<i>P3- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>																	
Agnk	0 – 10	0,82	0,50	1,60	7,37	8,2	2,20	17,67	19,87	28,55	32,58	88,93	37,09	0,56	62,50	8,74	8,16
2Cgnk1	10 – 19	0,83	0,50	1,80	38,1	16,3	2,40	56,74	59,14	56,22	34,78	95,94	64,49	0,18	62,50	8,25	6,66
2Cgnk2	19 – 25	0,77	0,30	1,20	17,21	10,83	2,80	29,54	32,34	33,55	35,22	91,34	53,22	1,01	62,50	8,41	6,23
2Cgnk3	25 – 30+	0,85	0,50	1,80	19,3	10,5	2,80	32,12	34,92	42,07	44,02	91,98	55,27	0,31	54,25	8,45	6,29

Outro parâmetro que indica o elevado nível de salinidade deste ambiente são os valores de condutividade elétrica (CE; Tabela 3) que variaram de 17 a 30 dS.m^{-1} em P1; 26 a 32 dS.m^{-1} em P2 e 32 a 44 dS.m^{-1} em P3, mostrando que existe uma intensificação do processo de salinização no sentido P1→P3. Neste caso, P1 deve receber um maior aporte de água doce do sistema de drenagem continental, e acaba sofrendo um processo de diluição dos sais solúveis presentes. Grande parte destes íons que aportam neste perfil, possivelmente são lixiviados para as porções mais baixas do relevo (P2 e P3; Figura 2).

Observa-se ainda a intensa adição de bases (Tabela 3) e as elevadas concentrações de carbonato de cálcio (P1 > 57 g.Kg^{-1} ; P2 > 48 g.Kg^{-1} ; P3 > 54 g.Kg^{-1} ; Tabela 3), provenientes principalmente da água do mar e do sistema fluvial, que promovem os elevados valores de pH (Tabela 3), chegando em algumas profundidades, a valores de 8,4 (P1), 8,5 (P2) e 8,7 (P3).

Alguns estudos (MARQUES *et al.*, 2014a, 2014b, 2014c, 2012), correlacionam a queda dos valores de pH com a presença de material sulfídrico possivelmente herdado do mangue. No entanto, é necessária a utilização de análises mais refinadas que confirmem a presença de pirita para que afirmação possa ser estendida aos solos de *apicum* do estuário do rio Pacoti, uma vez que o pH não atingiu valores abaixo do determinado pelo SiBCS (EMBRAPA, 2013) para presença de material sulfídrico. Isto porque o elevado teor de CaCO_3 tampona o meio fazendo com que não diminua os valores de pH, uma vez que 1,67 g de CaCO_3 é suficiente para neutralizar a drenagem ácida promovida por 1g de pirita (ABRAHÃO, 2002).

Reflexo da elevada quantidade de CaCO_3 na área de estudo é a presença de *beachrocks* localizado na desembocadura do rio Pacoti (NASCIMENTO; CARVALHO, 2006), pois a gênese destas rochas de praia são relacionadas à cimentação por cálcio e magnésio (MAIA, 1998).

A baixa quantidade de matéria orgânica é reflexo da quase ausência de vegetação na área de estudo e da elevada taxa de mineralização, uma vez que a alta temperatura do ambiente favorece este processo.

Assim, pode-se deduzir que a maior contribuição para a formação de CTC, provém da argila (<16% em P1 e < 19% em P2 e P3; Tabela 2) nestes solos. Possivelmente argilas de alta atividade, por se tratar de um ambiente com elevadas

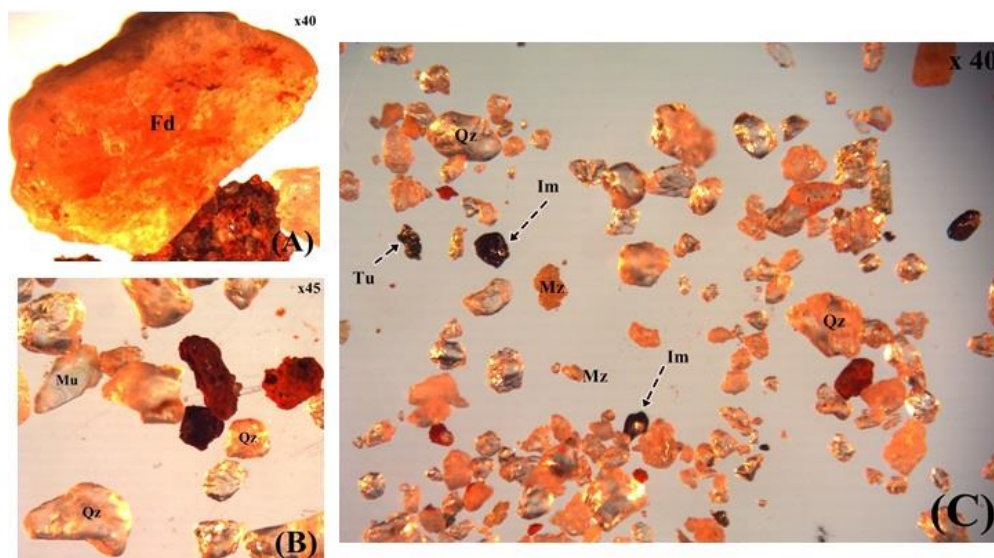
concentrações de sílica e cátions básicos (Ca^{2+} e Mg^{2+} ; Tabela 3) podem favorecer a neoformação de argilas 2:1 (por exemplo, esmectitas; MARQUES *et al.*, 2014a).

Os dados da composição granulométrica mostram predomínio da fração areia em todos os perfis estudados, de forma que as classes texturais encontradas foram a franco-arenosa e areia franca em todos os perfis estudados (Tabela 2).

De fato, a litologia da bacia do rio Pacoti (Figura 1) contribui para a gênese de solos arenosos, já que predominam rochas ácidas (paragnaisses, ortognaisses, granitoides; Figura 1), favorecendo o predomínio de quartzo (Figuras 5 e 6). Assim, foi identificada na morfoscopia (Figura 5), uma baixa quantidade de feldspato (areia grossa e média; $\text{P1} > \text{P2} = \text{P3}$) e muscovita (areia média; P1), reforçando o domínio do quartzo na fração areia.

O predomínio de quartzo hialino e pouco fosco (Figuras 5 e 6), indica que o transporte ocorreu em curta distância e/ou menor abrasão, mas suficiente para o desgaste das arestas das areias ao entrar em atrito com outras partículas resistentes.

Figura 5 – Minerais da fração areia grossa (A), média (B) e fina (C).



Fonte: Autora.

Fd- feldspato, Mu- muscovita, Qz- quartzo; Tu- turmalina, Im- ilmenita; Mz, monazita.

Observou-se grandes quantidades de areia fina com valores médios em torno de 41% em P1, 44% em P2 e 47% em P3 (Tabela 2). Dados similares foram também obtidos por Medeiros *et al.* (2013). Foi observada nesta fração (Figura 5 C),

bem como na areia muito fina, a presença outros minerais como a ilmenita (óxido de Fe-Ti) e monazita ((Ce,La,Nd,Th)PO₄) em todos os perfis.

De fato, esta característica é comum em ambientes estuarinos (TOMAZZOLI; OLIVEIRA; HORN FILHO, 2007; COELHO *et al.*, 2005), e no caso da área de estudo, as rochas metamórficas presentes na bacia (Figura 1) podem contribuir para o aporte destes minerais, que por sua vez, foram carreados pelos cursos fluviais. Além disso, também foram identificadas na areia fina baixas quantidades de turmalina e biotita em P1 e P2.

A elevada quantidade de areia fina indica que o solo apresenta como uma de suas fontes, as dunas localizadas próximas à área de estudo. De fato, o ponto mais próximo da duna é o P3, que apresentou os maiores valores de areia fina (média de 47%) reforçando o fato de que a ação eólica tem uma grande contribuição na gênese dos solos estudados. Isto porque, o agente transportador tem a capacidade de movimentar apenas material de natureza mais fina e/ou mais bem selecionada (BARROSO, 2010; PAISANI, 2005). A análise estatística, dos valores de phi (Tabela 4), que trata do grau de seleção das partículas de areia (FOLK; WARD, 1957), indica que há predomínio de areia muito bem selecionada em superfície e subsuperfície dos perfis P1 e P2.

Tabela 4 – Medidas estatísticas da distribuição de partículas da fração areia

Horizonte	Mz	ϕ_1	SK ₁	K _G	Grau de seleção
P1- Gleissolo Sálco Sódico típico					
0 – 7	0,571	0,128	-4,606	0,605	MBS
34 – 45	0,556	0,171	-2,516	0,317	MBS
P2- Gleissolo Sálco Sódico típico					
0 – 4	0,614	0,129	-3,222	0,451	MBS
34 – 50	0,598	0,132	-3,484	0,439	MBS
P3- Gleissolo Sálco Sódico típico					
0 – 10	0,637	0,067	-7,331	6,582	MBS
25 – 30	1,791	0,617	+0,217	1,366	MdBS

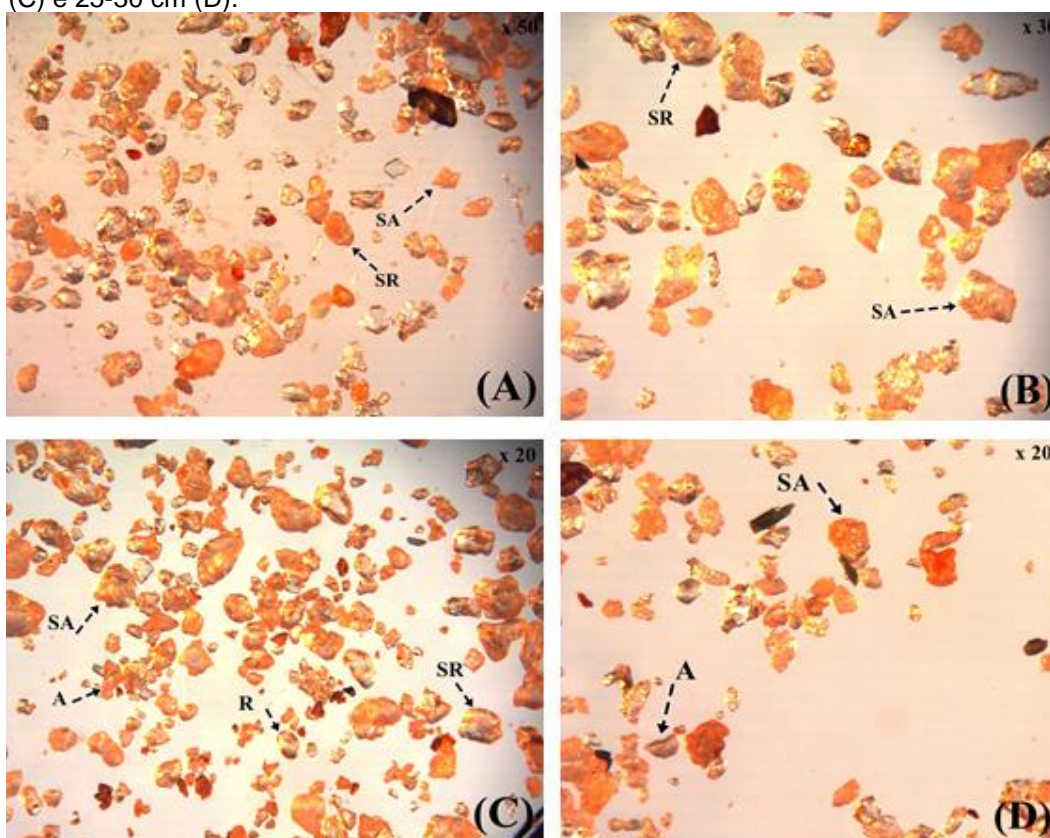
Mz- média gráfica; ϕ_1 - desvio padrão; SK₁- grau de simetria; K_G- curtose; MBS- Muito bem selecionado; MdBS- moderadamente bem selecionado.

Já no perfil P3 foram observados grãos bem selecionados apenas em superfície, enquanto em subsuperfície o grau de seleção do material foi moderadamente bem selecionado (Tabela 4).

Foi possível perceber a partir dos dados estatísticos do diâmetro da fração areia (Tabela 4), bem como pelo grau de seleção, que diferentes materiais ou mais que um meio de deposição originam os solos do *apicum* estudado.

A morfologia das areias (Figura 6), corrobora a ideia descrita acima, sugerindo diferentes formas de deposição de material em P3. Neste perfil os grãos são de morfologia sub angular (75%), angular (10%), sub rolada (10%) e rolada (5%). Nos demais perfis a forma dos grãos são sub angulares (em torno de 80% em P1 e 90% em P2) e sub rolado (em torno de 20% em P1 e 10% em P2).

Figura 6 – Morfoscopia das areias dos perfis P1 34-45 cm (A), P2 34-50 (B) e P3 0-10 (C) e 25-30 cm (D).



Fonte: Autora.

A-Angular; SA-subangular; R- rolado; SR-subrolado.

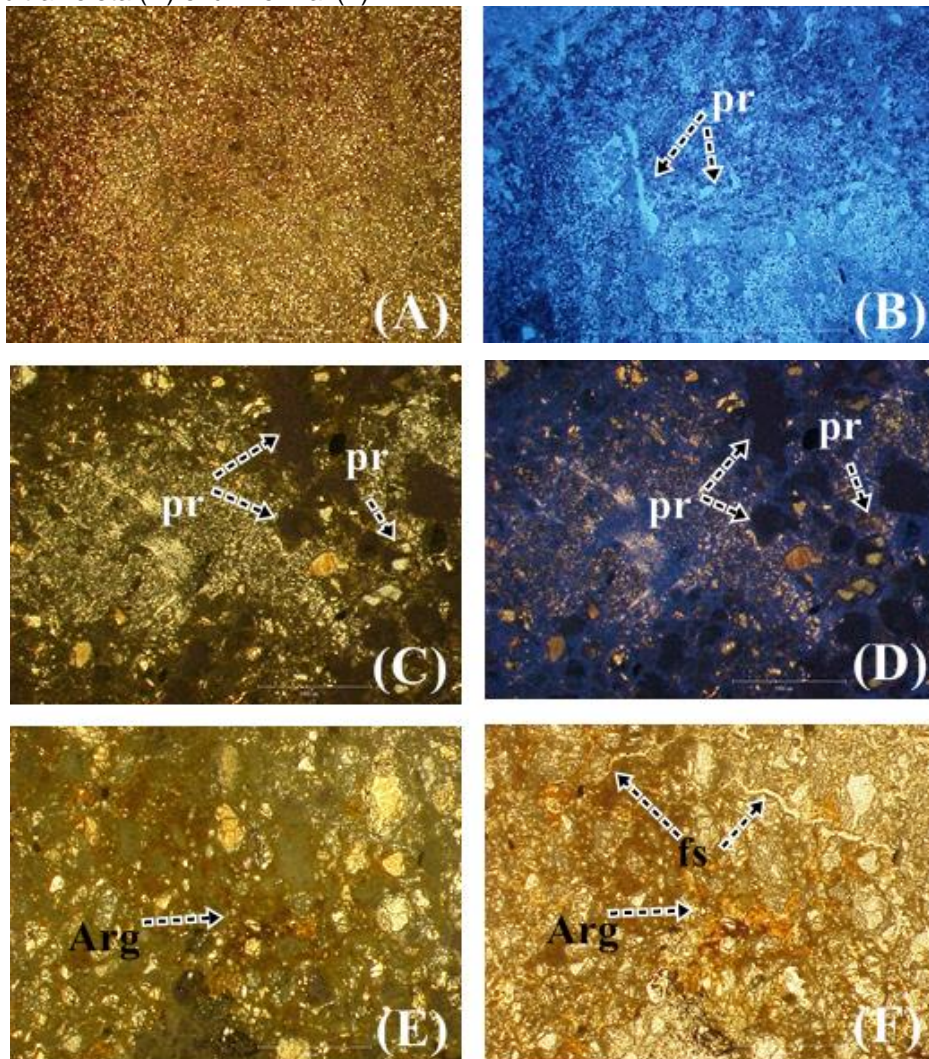
Além disso, a micromorfologia (Figura 7) também mostra que nas porções mais elevadas do *apicum* há presença de material bem mais selecionado, conferindo um maior adensamento do material mineral (Figura 7 A). Nesse caso, argilas são

deposicionadas nos espaços vazios formados pelo rearranjo dos grãos de areia, favorecendo a diminuição da quantidade de poros (Figura 7B).

Já na parte baixa do *apicum*, é nítida a participação de grãos de natureza menos selecionada (MdBS; Figura 7 C,D,E e F) e aumento na quantidade de poros devido à dissolução de minerais (Figura 7 C e D). A morfologia do poro, bem como o mineral envolto pela cavidade sugere tal fato.

Além da cavidade de dissolução, foi possível observar poros fissurais (Figura 7 F), reforçando a participação de argilas expansivas do tipo 2:1, cuja atividade de argila é superior a $50 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ (Tabela 3), bem como a deposição de material fino (argilas; Figura 7 E e F).

Figura 7 – Microfotografias de lâminas delgadas dos perfis P2 0-12 cm: luz polarizada (A) e ultravioleta (B) e P3 16-30 cm: luz polarizada (C e E), luz ultravioleta (D) e luz normal (F).



Fonte: Autora.

Pr-poro, Arg-argila, fs-poro fissural.

4 CONCLUSÃO

Diante do exposto, nota-se que o *apicum*, unidade geoambiental do ecossistema manguezal, detém uma dinâmica particular, sobretudo no que compete à sua pedogênese. Logo favorece a ocorrência de solos cuja formação é regida pelo relevo local e pelo regime de marés, que por sua vez contribuem para a salinização, para o baixo grau de desenvolvimento estrutural e pelos processos de oxi-redução devido a constante flutuação do lençol freático.

Mineralogicamente, os solos apresentam o predomínio de quartzo e traços de feldspato, biotita e muscovita nas frações mais grossas de areia, bem como ilmenita, monazita e turmalina na areia fina e muito fina.

É importante ressaltar o aporte de sedimento de natureza arenosa, com aspecto de grãos bem selecionados a moderadamente selecionados, condizente com os relatos para material de dunas. Além disso, há mais de uma fonte fornecedora de sedimentos, principalmente na posição mais baixa do *apicum*.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W.A.P. **Aspectos químicos e mineralógicos relacionados à geração experimental de drenagem ácida em diferentes geomateriais sulfetados**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, MG. 2002, p. 125.
- AOAC. **Official methods of the Association of Agricultural Chemists**. 11 ed. (Association of Official Agricultural Chemists: Washington, DC). 1970.
- BARRA, O.A.O.L.; SILVA, N.S.; LIMA, D.B.; VASCONCELOS, F.P. Caracterização geoambiental e os conflitos existentes na sub-bacia hidrográfica do baixo Pacoti, Ceará – Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, v. 16, n. 2, p. 66-83, 2014.
- BARROSO, J. **Os ventos e a formação de dunas**. 2010. Disponível em: <http://www.ccron.org.br/images/file/artigos%20josue/ARTIGO%2010.pdf>. Acesso em: 13 abril 2015
- BOWER, C.A., REITEMEIER, R.F., FIREMA, N. M. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. **Soil Science**, n.73, p. 251–262. 1952 doi:10.1097/00010694-195204000-00001.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988 Campinas. **A responsabilidade social da ciência do solo**. Campinas: SBPC, p.79-90. 1988.
- BRANCO, M.P.N.C.; LEHUGEUR, L.G.O.; CAMPOS, J.E.G. Proposta de classificação para as feições eólicas do setor Leste da região metropolitana de Fortaleza – Ceará – Brasil. **Geociências**, v. 22, n. 2, p. 163-174, 2003.
- CASTRO, J.W.A., Burying processes carried out by a mobile transversal dunefield, Paracuru County, State of Ceara, Brazil. **Environmental Geology**. n.49, p. 214-218. 2005.
- CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. **Inventário Ambiental do Açude Pacoti**. Fortaleza, 2011. 101p.
- CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. **Anuário de Monitoramento Quantitativo dos Açudes Gerenciados pela COGERH do Ceará**. Fortaleza, 2009.
- CEARÁ. Secretaria do desenvolvimento urbano e meio ambiente – SDU/ Superintendência estadual do meio ambiente – SEMACE. **Composição florística e estrutura dos bosques de mangues dos rios Ceará, Cocó e Pacoti**. Fortaleza, 1994.

COELHO, F.S.; COUCEIRO, P.R.C.; LOPES, A.L.; FABRIS, J.D. Óxidos de ferro e monazita de areias de praias do Espírito Santo. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 233-237. 2005

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Técnicas de coleta e preparação de amostras para micromorfologia com otimização do processo de impregnação**. Planaltina- DF: Embrapa Cerrado, 2002. 20p.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**. Tulsa, Okla., n.27, p. 3- 27. 1957.

GARRELS, R.M.; C.L. CHRIST. **Solutions, minerals and equilibria**. Harper and Row, New York, 1965. 450 p.

GEE, G.W., BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd edn. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: Madison, WI, USA. p. 383–411. 1986.

GORAYEB A.; SILVA, E. V. da; MEIRELES, A. J. de A. “Meio ambiente e condições de sustentabilidade da planície flúvio marinha do Rio Pacoti – Ceará – Brasil”. In: Geoambiente online (Revista Eletrônica do curso de Geografia do Campus Avançado de Jataí – GO). 2004. Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/geoambiente/article/view/25861/14852> Acessado em 08/2014.

GORAYEB, A. **Impactos Sócioambientais e Propostas de Manejo Sustentável para a Planície Flúvio-Marinha do Rio Pacoti-CE**. Relatório de Graduação- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

HADLICH, G. M.; CELINO, J. J.; UCHA, J. M. Diferenciação físico-química entre *apicuns*, manguezais e encostas na Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil. **Geociênc. (São Paulo)** [online]. v.29, n.4, p. 633 - 641, 2010.

JONG van LIER Q, VIDAL-TORRADO P. Phi: programa de microcomputador para análise estatística da granulometria de sedimentos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.16, p. 277–281. 1992.

KIM, Y., LEE, K.S., KOH, D.C., LEE, D.H., LEE, S.G., PARK, W.B., KOH, G.W., WOO, N.C. Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater salinization in a coastal aquifer: a case study in Jeju volcanic island, Korea. **Journal of Hydrology** 270 (3–4), p. 282–294. 2003

KRUMBEIN, W.C. Size frequency distribution of sediments. **Journal of Sedimentary Petrology** 4, 65–77. 1934. Doi:10.1306/D4268EB9-2B26-11D7-8648000102C1865D

MAIA, L.P. **Procesos Costeros y Balance Sedimentario a lo Largo de Fortaleza (Ne-Brasil): Implicaciones para una Gestion Adecuada de la Zona Litoral**. Tese. Universidade de Barcelona. p. 198. 1998.

MAIA, L. P.; RAVENTOS, J.S.; OLIVEIRA, P.M.P.; MEIRELES, A.J.A. Alterações Climáticas na Região de Fortaleza Causadas por Fatores Antrópicos e Naturais. **Revista de Geologia**, v. 9, p. 111-121, 1998.

MARQUES, A.G.B.; FERREIRA, T.O.; NÓBREGA, G.N.; ROMERO, R.E. ; SOUZA JUNIOR, V.S.; MEIRELES, A.J.A.; OTERO, X.L. Soil genesis on hyper Saline tidal flats (*apicum* ecosystem) in a tropical semiarid estuary (Ceará, Brazil). **Soil Research**, 2014a. <http://dx.doi.org/10.1071/SR13179>

MARQUES, A.G.B; FERREIRA, T.O.; CABRAL, R.L.; NÓBREGA, G.N.; ROMERO, R.E.; MEIRELES, A.J.A.; OTERO, X.L. Hypersaline tidal flats (*Apicum* ecosystems): The weak link in the tropical wetlands chain. **Environmental Reviews**, 2014b. Doi: 10.1139/er-2013-0026

MARQUES, A. G. B.; NÓBREGA, G.N.; ARAÚJO JUNIOR, J.M.C.; ALBUQUERQUE, A.H.P.; OTERO, X. L.; ROMERO, R. E. ; FERREIRA, T.O. Classificação e gênese de solos em uma topossequência manguezal- *apicum*-tabuleiro (Acará-CE/ Brasil). **Anais...XX CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO**, 2014c.

MARQUES, A.G.B.; NÓBREGA, G.N.; PEREZ, X.L.O.; MEIRELES, A.J.A.; ROMERO, R.E.; FERREIRA, T.O. Gênese e classificação de solos de *apicum* do Nordeste brasileiro. **Anais... XIX Congreso Latino Americano de la Ciencia del Suelo; XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Argentina, 2012, p. 6.

MEDEIROS, E.R.; PEDRON, F.A.; REINERT, D.J.; SCCOTI, A.A.V. filiação entre arenitos da formação guará e sua cobertura pedológica no rio grande do sul. R. **Brasileira de Ciência do Solo**, n. 37, p. 555-564. 2013.

MEIRELES, A. J. DE A.; CASSOLA, R. S.; TUPINAMBÁ, S. V.; QUEIROZ, L. S. Impactos ambientais decorrentes das atividades da carcinicultura ao longo do litoral cearense, Nordeste do Brasil. **Mercator- Rev. de Geog. da UFC**, v. 6, n. 12, 2007.

MEIRELES, A. J. A.; GORAYEBE, A.; THIERS. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Mercator- Rev. de Geog. da UFC**, v. 8, p. 109-134, 2005.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH₄**. STDP No. 1-53. (Soil Testing Division, Department of Agriculture: Raleigh, NC, USA). 1953.

METSON, A.J. **Methods of chemical analysis for soil survey samples**. (New Zealand Soil Bureau: Wellington, New Zealand). 1956.

NASCIMENTO, F.R.; CARVALHO, O. Sub-compartimentação topográfica, caracterização e descrição das formas de relevo na bacia metropolitana do Pacoti em Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.7, n. 1, p. 19-26. 2006.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney, D.R. (ed.) **Methods of soil analysis** – chemical and microbiological properties. Part 2, 2 ed. Madison: American Society of Agronomy e Soil Science Society of America. cap. 29, p.539-579. 1982.

NEUBAUER, S.C; TOLEDO-DURÁN, G.E; EMERSON, D; MEGONIGAL, J.P. Returning to Their Roots: Iron-Oxidizing Bacteria Enhance Short-Term Plaque Formation in the Wetland-Plant. **Rhizosphere. Geomicrobiology Journal**, n. 24, p. 65–73, 2007. DOI: 10.1080/01490450601134309

PAISANI, J.C. Análise morfométrica e de textura superficial de grãos utilizada na identificação de litofácies eólica e de dissipação em rampa arenosa/dissipação: o caso da Praia Mole (Ilha de Santa Catarina). **Geosul**, v.20, n.39, p 105-118. 2005

PINHEIRO, M.V.A. **Evolução geoambiental e geohistórica das dunas costeias do município de Fortaleza-Ce**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2009. 182p.

PORTUGAL, A. M. M. **Manguezais de Guaratiba frente à perspectiva de elevação do nível médio relativo do mar, Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro – Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Oceanografia Biológica) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, SP. 2002, p. 174.

POWERS, M. C. Size analysis of sands by a sedimentation technique. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 460-468. 1953.

QUAGGIO JA, VAN RAIJ B, MALLAVOLTA E. Alternative use of the SMPbuffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. n. 16, p. 245–260. 1985. Doi:10.1080/001036 28509367600

REINECK, H.E.; SING, J.B. **Depositional sedimentary environments**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. 439 p.

RHOADES, J.D. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of soil analysis: Chemical methods. Part 3'. (Ed. DL Spark). **Soil Science Society of America**: Madison, WI, USA. 1996

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**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 6ª ed. Campinas, 2013, 100p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Manguezal, marisma e *apicum* (**Diagnóstico Preliminar**). In: Fundação BIO - RIO; Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Pará - SECTAM; Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte - DEMA; Sociedade Nordestina de Ecologia –

SNE [et al]. (Org.). **Avaliações e ações prioritárias para conservação da biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha**. Brasília: MMA/SBF, p. 119, 2002.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Soil survey manual**. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service: Washington, DC. n. 18. 1993

SUMNER M.E., MILLER W.P. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In 'Methods of soil analysis, Part 3'. (Chemical methods. **Soil Science Society of America**: Madison, WI, USA). 1996.

TOMAZZOLI, E.R.; OLIVEIRA, U.R.; HORN FILHO, N.O. Proveniência dos minerais de óxidos de Fe-Ti nas areias da praia do Pântano do Sul, ilha de Santa Catarina (SC), sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica** n. 25, v. 1, p. 49-64. 2007.

TSOAR, H.; LEVIN, M.; PORAT, N.; MAIA, L.P.; HERRMANN, H.J.; TATUMI, S.H.; CLAUDINO-SALES, V. The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in Ceará State (NE Brazil). **Quaternary Research**. n.71, p. 217–226. 2009.

TSOAR, H. Sand dunes. In: Hillel, D. (Ed.), **Encyclopedia of Soils in the Environment**. Elsevier, Oxford, pp. 462–471. 2004.

VEPRASKAS, M. J.; RICHARDSON, J.L.; TANDARICH, J.P. Dynamics of redoximorphic feature formation under controlled ponding in a created riverine wetland. **Wetlands**, v. 26, n. 2, p. 486–496. 2006.

VEPRASKAS, M. J. **Redoximorphic Features for Identifying Aquic Conditions**. North Carolina Agricultural Research Service, Raleigh, NC, USA. Technical Bulletin 301. 1992.

XU, B., YU, S. Root iron plaque formation and characteristics under N₂ flushing and its effects on translocation of Zn and Cd in paddy rice seedlings (*Oryza sativa*). **Annals of Botany**. p. 1-7. 2013. Doi:10.1093/aob/mct072

WANG, Y.; JIAO, J.J. Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in the confined Quaternary aquifer of the Pearl River Delta, China. **Journal of Hydrology**. 438–439. p.112–124. 2012.

YAO, F.; SHEN, G.X.; LI, X.L.; LI, H.Z.; HU, H.; NI, W.Z. A comparative study on the potential of oxygen release by roots of selected wetland plants. **Physics and Chemistry of the Earth**. n. 36, p. 475–478. 2011.

CAPÍTULO 3

Diferenças pedogenéticas em solos de *apicum*: estudo de caso no litoral noroeste e sudeste do Ceará

RESUMO

Sabendo-se da importância ecológica e sócio- econômica dos *apicuns*, é de suma relevância o estudo detalhado de sua evolução dentro do ecossistema. Desta forma, foram selecionados dois estuários, um a noroeste do Estado (Amontada) e outro a sudeste (Aquiraz), a fim de investigar as diferenças na composição morfológica, física e química destes solos desenvolvidos em diferentes posições na costa cearense. Para tanto, foram realizadas análises físicas e químicas de rotina, bem como determinações micromorfológicas e morfoscópica. Foram verificadas cores neutras, típicas de gleização, bem como elevados índices de salinidade (CE: 9 a 44 dS.m⁻¹) em ambos os solos, principalmente no *apicum* do estuário do rio Pacoti. Todos os solos são essencialmente arenosos (30 a 88%), com grãos bem selecionados ou moderadamente selecionados. Assim, foram quantificados elevados valores para areia fina e muito fina nos perfis dos dois estuários. Quanto a identificação dos minerais nestas frações, há elevada quantidade de minerais primários (biotita e turmalina) no estuário do rio Aracatiaçu, indicando possui menor grau de desenvolvimento, em comparação com os outros solos localizados no estuário do rio Pacoti, visto que além da mineralogia, a micromorfologia suporta tão fato. A gênese dos solos de ambos os estuários é regida tanto pelo relevo, no âmbito local, como por processos sedimentológicos e hidrológicos, com passível modificação pelas atividades antrópicas. Além disso, a atividade biológica parece ter maior participação no incipiente processo de agregação no *apicum* a noroeste do Estado. Já a sudeste, há predomínio de processos oxi-redutivos.

Palavras-chave: Estuário. Solos hipersalinos. Micromorfologia

ABSTRACT

Knowing the ecological and socio-economic importance of *apicuns*, it is of paramount importance the detailed study of their evolution within the ecosystem. Thus, we selected two estuaries, one northwest of the state (Amontada) and another to the southeast (Aquiraz) in order to investigate the differences in morphological composition, physics and chemistry of these soils developed in different positions in the Ceará coast. Therefore, were performed physical and chemical analysis and micromorphological and morphoscopic determinations. Neutral colors typical of gley were discovered and high salinity levels (EC: 9-44 dS.m⁻¹) in both soils, especially in the *apicum* of the estuary of the river Pacoti. All soils are mainly sandy (30-88%), with well selected or moderately selected grains. Were quantified high values for fine and very fine sand in the profiles of the two estuaries. As the identification of minerals in these fractions, there is high amount of primary minerals (biotite, tourmaline) in the estuary of the river Aracatiaçu indicating have less developed compared with other soils located in the estuary of the river Pacoti, as well mineralogy, the morphology supports this fact The genesis of the soils of both estuaries is governed by relief at the local level, and by sedimentological and hydrological processes, with possible modification by human activities. In addition, the biological activity appears to have greater participation in the incipient process of aggregation in *apicum* northwest of the state. Already the southeast, there is a predominance of oxy-reductive processes.

Keywords: Estuary. Hypersaline soils. Micromorphology

1 INTRODUÇÃO

A planície fluviomarinha é uma unidade geomorfológica complexa influenciada pelas oscilações de marés e por processos continentais regidos, principalmente, pelo sistema fluvial (OLIVEIRA; SOUZA, 2012). Esta dinâmica envolve toda uma sistemática estuarina de mistura de água salina com água doce, permitindo a fixação de vegetação típica de manguezais (JOSHI; GHOSE, 2003).

No entanto, quando os índices de salinidade são elevados devido à diminuição do aporte de água pelo sistema de drenagem continental, o mangue dá lugar à vegetação extremamente halófito (p.e. *Batis marítima*), típica de um ambiente hipersalino denominado *apicum* (MARQUES *et al.*, 20014).

Assim, o déficit hídrico, promovido pela baixa precipitação pluvial, aliada às elevadas temperaturas, favorece elevados índices de evapotranspiração, que por sua vez, permite a salinização dos solos devido à evaporação da água e concentração de sais (SAVENIJE; PAGÈS, 1992). Além disso, o que impede o avanço da água do mar nos domínios continentais são as águas fluviais (MORAIS; PINHEIRO, 2011; PINHEIRO; MORAIS, 2010), sendo este processo desfavorecido quando há diminuição no aporte de água nos rios devido às baixas concentrações de chuvas e/ou barramentos dos cursos fluviais (MORAIS; PINHEIRO, 2011).

O litoral cearense apresenta clima Tropical Quente semiárido Brando, em grande parte de sua extensão, e Tropical Quente Subúmido (IPECE, 2007). Assim, o Ceará por possuir bacias de drenagens cujo alguns trechos são inseridos em um contexto de clima semiárido (MORAIS; PINHEIRO, 2011), permite que, em seus estuários, tenham condições favoráveis à gênese de *apicuns*.

Os solos localizados no *apicum* são fortemente influenciados por toda esta dinâmica hídrica, sedimentar e geomorfológicas, fazendo com que as suas características morfológicas, físicas e químicas sejam diferenciadas em relação aos solos de outras unidades geoambientais. Exemplo disso são as oscilações do nível do mar durante o Quaternário, pois na ocasião, foram formados as planícies costeiras e todo ecossistema estuarino (LIMA *et al.*, 2015; MEIRELES *et al.*, 2005).

Considerando todos os aspectos mencionados, a investigação das diferenças na composição morfológica, física e química dos solos de *apicuns*, desenvolvidos em diferentes posições na costa cearense, é importante para contribuir no entendimento da dinâmica de formação deste ambiente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

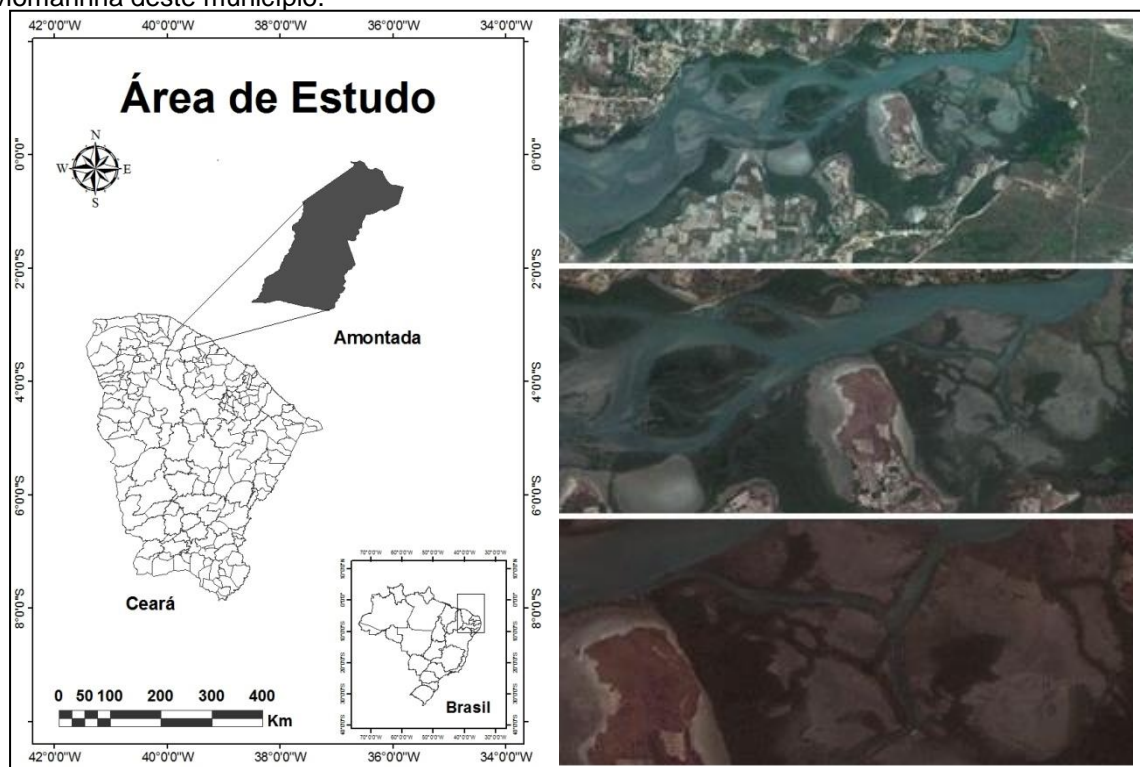
2.1 Caracterização da área de estudo

Foram selecionadas duas áreas de estudo, uma no litoral noroeste do Ceará, no estuário do rio Aracatiaçu (município de Amontada), e a outra no litoral sudeste cearense, no estuário do rio Pacoti (município de Aquiraz).

i. Rio Aracatiaçu

A bacia do rio Aracatiaçu, situada na porção noroeste do Estado do Ceará (Figura 1), possui uma área de 3.055 km² e abrange os municípios de Irauçuba, Miraíma, Amontada e parte de Sobral.

Figura 1 - Localização territorial de Amontada e em destaque áreas de *apicum* situadas na Planície fluviomarinha deste município.



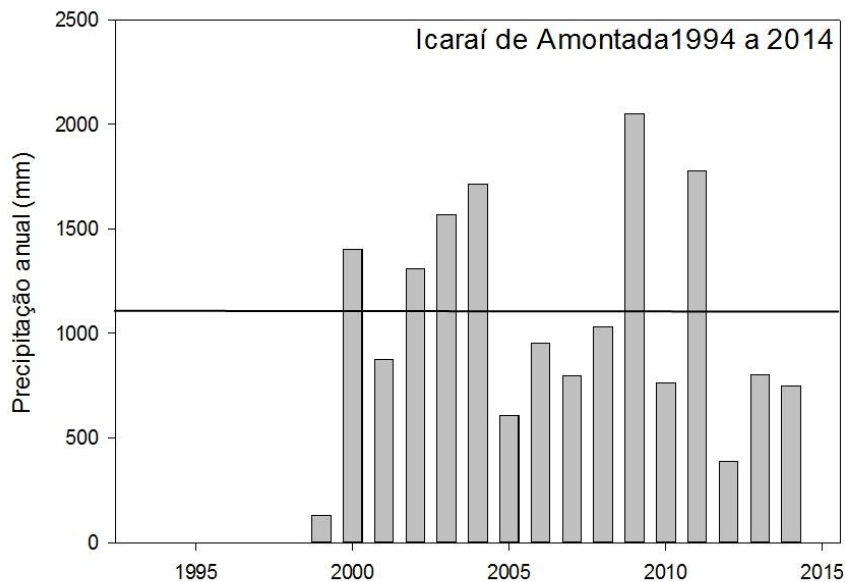
Fonte: Autora (Shapes do IBGE e fotos do Google maps).

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia do Aracatiaçu engloba porções da Depressão Sertaneja, Maciços Residuais Secos, Planície Fluvial, Tabuleiro Pré-Litorâneo e Planície Litorânea (GONÇALVES; NOGUEIRA, 2007).

O clima predominante de Amontada é Tropical Quente Semiárido Brando e Tropical Quente Semiárido, com período chuvoso de janeiro a abril, precipitação média anual de 828,5 mm e temperatura média entre 26°C a 28°C (IPECE, 2007).

A área de estudo, em Icaraí de Amontada, possui precipitação média histórica anual entorno de 1057 mm (Figura 2; FUNCEME, 2015), enquanto no curso alto e médio os totais pluviométricos variam de 550 a 1000 mm anuais, respectivamente (IPECE, 2002).

Figura 2 – Média histórica da precipitação pluvial do distrito de Icaraí de Amontada (Amontada-CE) nos anos de 1994 a 2014. A linha pontilhada demarca a média histórica de 1057 mm.



Fonte: Funceme (2015), adaptado pela autora. Os dados de 1994 a 1998 não foram disponibilizados pela Funceme.

A litologia da bacia caracteriza-se pelo predomínio de rochas do embasamento cristalino, representadas por gnaisses, migmatitos, quartzitos e metacalcário, com associação de rochas graníticas (BRASIL, 2003), além de terrenos cenozóicos englobando a Formação Barreiras, dunas (Figura 3B) e paleodunas, localizados nas proximidades com o litoral (GONÇALVES; NOGUEIRA, 2007).

De acordo com o Mapa de Solos do Estado do Ceará (IPLANCE, 1992), seis classes de solos têm ocorrência comum na região das duas bacias em questão: Latossolos, Planossolos, Neossolos Flúvicos, Luvisolos, Neossolos Litólicos e Argissolos.

Figura 3 - (A) Área de estudo no estuário do rio Aracatiaçu em Icarai de Amontada (Amontada-CE) e (B) proximidades de campos de dunas.



Fonte: Autora.

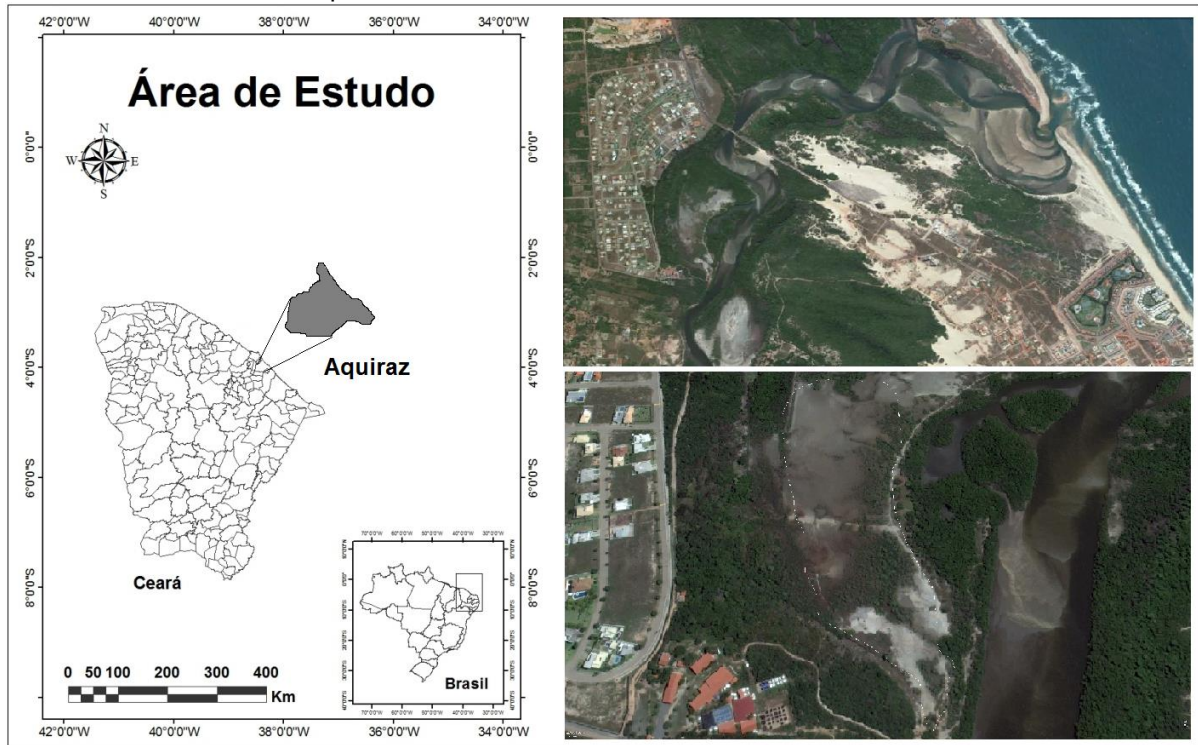
ii. Rio Pacoti

As principais nascentes do rio Pacoti encontram-se na cidade homônima, localizada no Maciço de Baturité a cerca de 850 m de altitude, com curso de 130 Km e extensão de 1800 Km² (CEARÁ, 1994). O alto e médio curso do rio é inserido, em sua maior parte, em terrenos com predomínio de rochas metamórficas (NASCIMENTO, 2005), por exemplo, gnaisses e quartzitos (BRASIL, 2003).

Já a foz, localiza-se no baixo curso do rio Pacoti (Figura 4), é limitada por três municípios: Eusébio, Fortaleza (praia da Cofeco) e Aquiraz (Porto das Dunas), de forma que a sub-bacia do baixo Pacoti fica inserida na bacia Metropolitana de Fortaleza. Assim, é considerado um dos maiores cursos de água, tornando-se um dos principais responsáveis pelo abastecimento de água na Região Metropolitana de Fortaleza, uma vez que este rio tem capacidade de abastecer reservatórios com cerca de 380 milhões de m³ (CEARÁ, 2009).

Em relação aos componentes geoambientais do estuário do rio Pacoti, destacam-se os Tabuleiros Costeiros e a Planície Litorânea composta por faixas de praia e pós-praia, com a presença de *beach rocks*, planície fluviomarinha (Figura 5) e campo de dunas (BARRA *et al.*, 2014; GORAYEB *et al.*, 2004; GORAYEB, 2003).

Figura 4 - Localização territorial de Aquiraz e em destaque áreas de *apicum* situadas na Planície Fluviomarinha deste município.



Fonte: Autora (Shapes do IBGE e fotos do Google maps).

Destaca-se o constante transporte e acumulação de sedimentos marinhos na faixa de praia responsáveis pela formação de campos de dunas móveis (GORAYEB *et al.*, 2004; Figura 5C). Este aspecto contribui, regionalmente, para a formação de solos classificados como Neossolos Quartzarênicos distróficos nas seguintes unidades geoambientais: praia/pós-praia, planície interdunar e campos de dunas.

Figura 5 - Área de estudo no estuário do rio Pacoti em Aquiraz (CE).

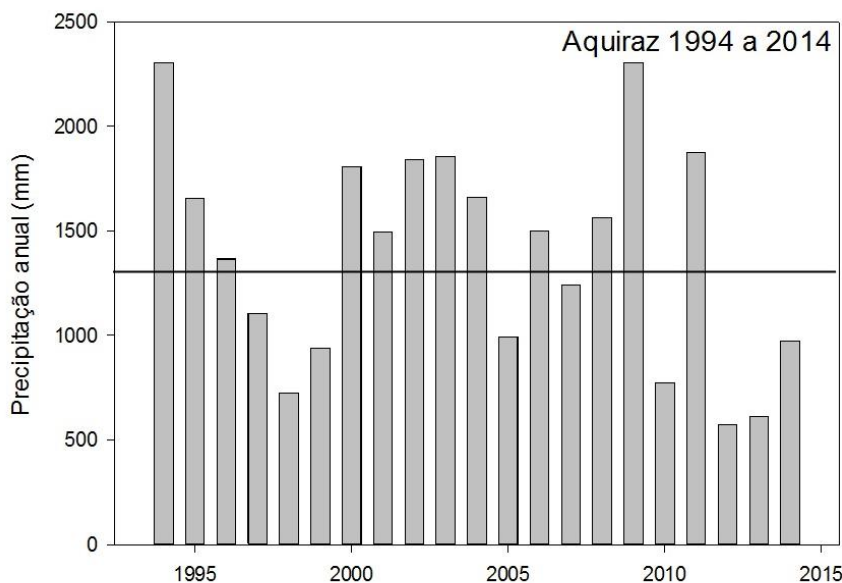


Fonte: Autora.

Nos Tabuleiros, há um acréscimo na quantidade de argila, contribuindo para a formação de Argissolos (GORAYEB *et al.*, 2004; GORAYEB, 2003). Já na planície fluvio-marinha são poucos os relatos a respeito da classificação de seus solos, de forma que, especificamente, nos domínios de mangues, há predomínio de Gleissolos (PINHEIRO, 2009).

O clima predominante de Aquiraz é Tropical Quente Sub-úmido, com período chuvoso de janeiro a abril e temperatura média entre 26°C a 28°C (IPECE, 2007). Apresenta uma média pluviométrica anual histórica entorno de 1389 mm (Figura 6; FUNCEME, 2015), enquanto no alto curso do rio Pacoti a precipitação pluvial varia de 1300 a 1500 mm, e o médio curso do rio entorno de 900 a 1100 mm (FUNCEME, 2015).

Figura 6 - Média histórica da precipitação pluvial da cidade de Aquiraz (CE) nos anos de 1994 a 2014. A linha pontilhada demarca a média histórica de 1389 mm.



Fonte: Funceme (2015), adaptado pela autora.

2.2 Procedimentos: campo

Foram selecionados três perfis de solo em cada estuário, conforme as características topográficas (Tabela 1) dentro da área de *apicum*. Posteriormente, a descrição morfológica e coleta dos solos foram realizadas conforme metodologia descrita em Santos *et al.* (2013).

Desta forma, cada perfil foi subdividido em horizontes, onde foram descritas as características morfológicas e foram coletadas amostras para a realização das análises químicas e físicas de rotina.

Tabela 1 - Posição dos pontos de coleta de solo nos *apicuns* dos estuários do rio Aracatiaçu e Pacoti.

Perfil	Posição na paisagem	Altitude M	Coordenadas UTM	
Apicum do rio Aracatiaçu (noroeste)				
P1	Topo- zona mais distante do ponto de entrada da maré. Proximidade do Tabuleiro Costeiro e de área agrícola	18,0	0377610	9682472
P2	Porção central do <i>apicum</i> - suave elevação do terreno	13,0	0421214	9666449
P3	Encosta inferior- zona mais próxima à entrada da maré, do mangue e do rio	7,0	0421422	9666609
Apicum do rio Pacoti (sudeste)				
P4	Topo- zona mais distante do ponto de entrada da maré. Proximidade do Tabuleiro Costeiro	8,3	564131	9586043
P5	Meia encosta- zona intermediária com maior atividade da vegetação	8,0	564171	9576468
P6	Encosta inferior- zona mais próxima à entrada da maré e do mangue	7,7	564131	9576722

2.3 Procedimentos: analíticos

Em laboratório as amostras foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas e submetidas ao pré-tratamento de eliminação do excesso de sais solúveis, em que as amostras para análise de rotina foram lavadas com álcool etílico 60% (v/v) para remoção dos sais (BOWER *et al.*, 1952; SUMNER; MILLER, 1996) até a ausência de cloretos. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta após a eliminação da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (GEE; BAUDER, 1986), com dispersão química utilizando hexametáfosfato de sódio (NaPO₃)₆ 0,015 mol L⁻¹ e agitação mecânica horizontal.

A determinação do carbono orgânico (CO) foi realizada empregando-se o método de Walkley & Black (NELSON; SOMMERS, 1982), utilizando o princípio da

oxidação da matéria orgânica (via úmida) com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol.L⁻¹) e titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,25 mol.L⁻¹);

A condutividade elétrica (CE) foi obtida a partir da pasta de solo saturada com água destilada (RHOADES, 1996) e leitura em medidor de condutividade. Além disso, foi determinado pH (1:2,5 sólido/líquido) pelo método do efeito do eletrodo combinado.

Acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) foi determinada por extração com solução de acetato de cálcio (0,5 mol L⁻¹) a um pH de 7 (QUAGGIO *et al.*, 1985). A extração do K^+ e Na^+ foram realizadas com 0,05 N HCl + 0,025 N H₂SO₄ (Mehlich I; MEHLICH, 1953), e Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos com KCl 1 M (1:10 solo/solução). Os cátions foram determinados por fotometria de chama (K^+ e Na^+), espectrofotometria de absorção atômica (Ca^{2+} e Mg^{2+}), e por titulação com uma solução de NaOH padrão (Al^{3+}). A capacidade de troca de cátions (CTC) foi calculada como a soma de cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , e $H^+ + Al^{3+}$; SUMNER; MILLER, 1996).

O carbonato de cálcio equivalente foi obtido pelo método da AOAC (AOAC, 1970) e Metson (1956).

Quanto à morfoscopia, após a análise granulométrica das profundidades 0-7 cm e 34-45 cm em P1, 0-4 cm e 34-50 cm em P2 e 0-10 cm e 25-30 cm em P3, foi separada a fração areia nos três perfis estudados, com posterior fracionamento (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993): areia muito grossa (2-1 mm), areia grossa (1-0,5 mm), areia média (0,5-0,25 mm), areia fina (0,25-0,1 mm) e areia muito fina (0,1-0,05 mm). Foi realizada a análise morfoscópica mediante seleção de 100 grãos de areia com auxílio de uma lupa binocular sobre todas as frações obtidas e, comparadas com a tabela proposta por Powers (1953).

Tabela 2 – Profundidades analisadas para determinação da morfoscopia.

Perfil	Profundidade (cm)	
Apicum do rio Aracatiaçu		
P1	0-12	38 - 59
P2	0-11	50 - 84
P3	0-4	39 - 61
Apicum do rio Pacoti		
P4	0-7	34 - 45
P5	0-4	34 - 50
P6	0-10	25 - 30

Após o fracionamento da areia foram calculados alguns parâmetros estatísticos (Análise phi ϕ ; FOLK; WARD, 1957) como média gráfica (M_z), desvio padrão (ϕI), grau de seleção e assimetria (SK_i) e curtose (K_G). Para tanto, os limites de Atterberg (mm) foram transformados para a escala phi de Krumbein (1934) a partir da equação $\phi = -\log_2 D$, em que D é o diâmetro do grão (mm). Assim a conversão ficou da seguinte forma: $\phi = -1$ a 0 (areia muito grossa), $\phi = 0$ a 1 (areia grossa), $\phi = 1$ a 2 (areia média), $\phi = 2$ a 3,32 (areia fina), $\phi = 3,32$ a 4,24 (areia muito fina). Foi utilizado o programa para microcomputador PHI (JONG VAN LIER; VIDAL-TORRADO, 1992) nessa análise. Posterior à análise de morfometria, foi determinada a mineralogia da fração areia com auxílio de lupa binocular.

Em relação à micromorfologia, amostras de solo com estrutura indeformada de horizontes superficial (P1: 5-15 cm; P2: 5-15 cm; P3: 4-14 cm; P5: 0-12 cm) e subsuperficial (P1: 43-53 cm; P2: 64-74 cm; P6: 16–30 cm) foram coletas em caixas de Kubiena (papelão com dimensões 10 x 6 x 5 cm) de papel dupla face. Após a coleta, as amostras passaram por um pré-tratamento que consistiu na troca de água por acetona para evitar que a amostra seja danificada quando a água entrasse em contato com a resina (EMBRAPA, 2002). Utilizou-se resina (poliéster) e um catalisador, conferindo resistência para manter sua estruturação original na confecção das lâminas (3 cm x 4,5 cm). Os cortes foram analisados em microscópio de polarização com câmera acoplada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as análises físicas, químicas e morfológicas, os solos do *apicum* do rio Aracatiaçu foram classificados como GLEISSOLO SÁLICO Sódico típico em P1; GLEISSOLO SÁLICO Sódico tiônico P2 e GLEISSOLO SÁLICO Órtico típico em P3. Já no estuário do rio Pacoti todos os solos são GLEISSOLOS SÁLICOS Sódicos típicos.

Apesar da diferenciação dos valores de precipitação média mensal das duas áreas de estudo (Figuras 2 e 6), não foi possível verificar diferenciação marcante na morfologia ao comparar os solos em questão.

Assim, em ambos os estuários, a posição do solo na paisagem determinou a diferenciação de algumas características morfológicas, como a cor do solo, por exemplo. Isto porque o maior aporte de água que chega à planície fluviomarinha, principalmente pela entrada da maré na porção mais baixa da topografia, favorece a ocorrência de cromas mais baixos, conferindo ao solo cores neutras a acinzentadas (Figura 6; Tabela 3).

O padrão observado foi de intensa gleização (Figura 6) no sentido porção mais elevada para a mais baixa do relevo nos solos de ambos os estuários. No entanto, no topo da área de estudo de Icaraí de Amontada, não se pôde observar a mesma característica (Figura 6A), pois em P1 foi evidenciada, em todo perfil, cores acinzentadas (Gley 1 6/10Y; Gley 1 5/10Y; Tabela 3), semelhantes aos encontrados em solos de mangue (MARQUES *et al.*, 2014; FERREIRA *et al.*, 2007). Isto porque, o solo desta localização recebe também água proveniente da agricultura irrigada situada próxima à área de coleta, que em conjunto da água proveniente do subterrâneo favorece a elevação do lençol freático e, conseqüentemente permite o estabelecimento, por mais tempo, de condições redutoras no solo.

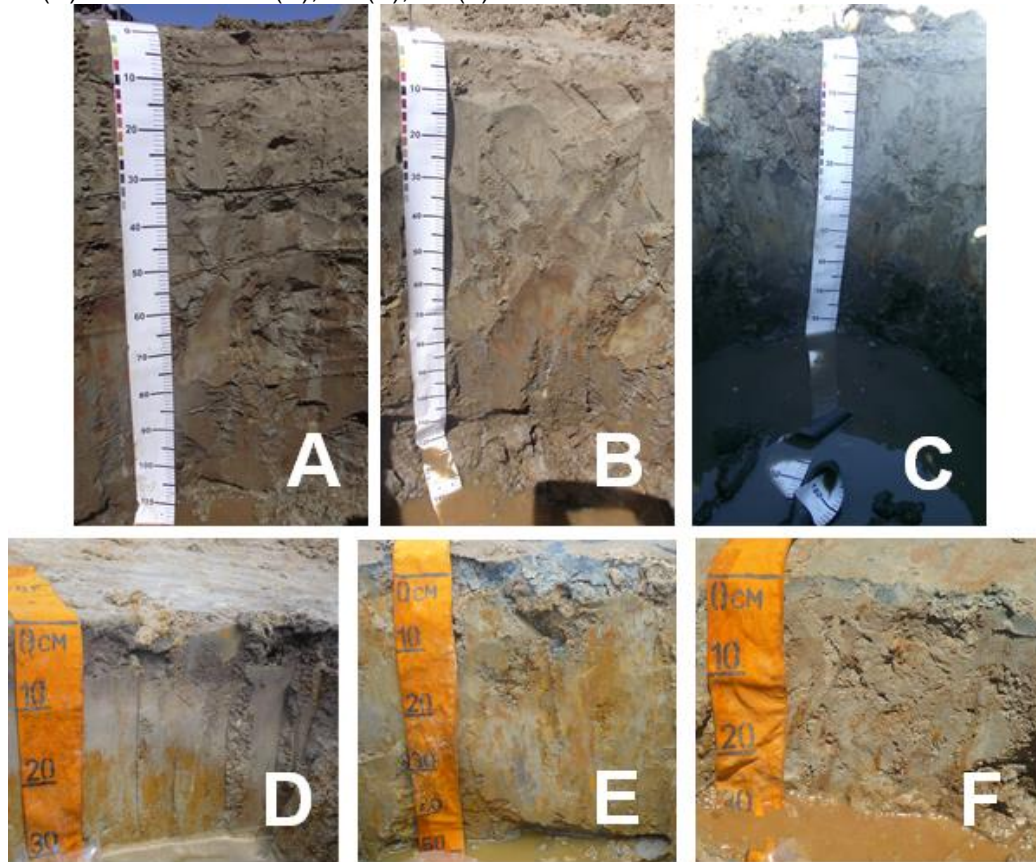
Além disso, como características das duas áreas de estudo, há a intensa atividade de flutuação do lençol freático, expressa na forma de mosqueados (Tabela 3; Figura 6) e estrutura de feição maciça (Figura 6), mas com um início de organização estrutural, indicando uma evolução incipiente.

Tabela 3 - Dados morfológicos dos perfis de solos de *apicum* dos estuários dos rios Aracatiaçu (P1 a P3) e Pacoti (P4 a P6).

Horizonte	Prof. cm	Cor Munsell	Mosqueado		Estrutura	Consistência*	Transição
			Cor	Quant./Tam/Cont			
P1- Gleissolo Sálico Sódico típico							
Cn1	0-12	Gley 1 6/10Y	5YR 5/6	comum/médio/distinto	maciça	M/mf/np/npj	Clara/plana
Cn2	12—20	Gley 1 5/10Y	5YR 5/6	abundante/médio/distinto	maciça	M/fr/lp/lpj	Clara/plana
Cgn3	20-38	Gley 1 5/10Y	5YR 5/8	abundante/grande/proeminente	maciça	LD/ft/p/lpj	Clara/plana
Cgn4	38-59	Gley 1 5/10Y	5YR 5/8	abundante/grande/proeminente	maciça	LD/f/p/lpj	Clara/plana
Cgnk5	59-100+	Gley 1 4/10Y	5YR 5/8	abundante/grande/proeminente	maciça	D/f/mp/mpj	-
P2- Gleissolo Sálico Órtico típico							
Cn1	0-11	7,5YR 6/1	7,5YR 6/8	pouco/pequeno/difuso	maciça	M/mf/np/npj	Clara/plana
Cgnk2	11-35	Gley 1 6/10Y	7,5YR 5/6	pouco/pequeno/difuso	maciça	M/fr/lp/lpj	Clara/plana
Cgn3	35-50	Gley 1 6/10Y	7,5YR 5/8	comum/media/difusa	maciça	M/fr/lp/npj	Clara/plana
Cgn4	50-84+	Gley 1 6/10Y	7,5YR 5/6	abundante/médio/proeminente	maciça	LD/f/p/lpj	-
P3- Gleissolo Sálico Sódico tíônico							
Ck1	0-4	Gley 1 6/10Y	-	-	maciça	M/mf/lp/lpj	Clara/plana
Cgnk2	4-23	Gley 1 6/10Y	5YR 3/4	pouco/médio/distinto	maciça	D/f/mp/mpj	Clara/plana
CgnK3	23-39	Gley 1 6/10Y	5YR 3/4	Comum/médio/distinto	maciça	D/f/mp/mpj	Clara/plana
Cgn4	39-61	Gley 1 5/10Y	5YR 5/6	abundante/grande/proeminente	maciça	D/f/mp/mpj	Clara/plana
Cgnk5	61-86+	Gley 1 2,5/N	Gley 1 2,5/N	-	maciça	D/f/mp/mpj	-
P4- Gleissolo Sálico Sódico típico							
Agnk	0-7	7,5 YR 5/1	7,5YR 6/8	pouco/médio/fraco	maciça	M/mf/np/npj	Clara/plana
2Cgnk1	7-23	10YR 6/1	7,5YR 6/8	comum/médio/fraco	maciça	M/mf/np/npj	Clara/plana
3Cgnk2	23-34	10YR 7/2	7,5YR 6/8	abundante/grande/distinto	maciça	LD/fr/lp/lpj	Clara/plana
3Cgnk3	34-45+	10YR 7/2	7,5YR 6/8	abundante/grande/distinto	maciça	LD/f/lp/lpj	-
P5- Gleissolo Sálico Sódico típico							
Agnk	0-4	10YR 6/1	7,5YR 5/8	comum/médio/distinto	maciça	M/mf/np/npj	Clara/plana
Cgnk2	4-12	10YR 7/2	7,5YR 7/8	comum/médio/distinto	maciça	M/mf/np/npj	Clara/plana
Cgnk3	12-21	10YR 7/2	7,5YR 5/8	comum/médio/distinto	maciça	M/mf/lp/lpj	Clara/plana
Cgn4	21-28	10YR 6/1	7,5YR 6/8	comum/médio/distinto	maciça	M/mf/lp/lpj	Clara/plana
Cgnk5	28-34	10YR 7/1	7,5YR 5/8	comum/médio/distinto	maciça	M/mf/np/npj	Clara/plana
Cgnk6	34-50+	10YR 5/2	7,5YR 7/8	abundante/médio/distinto	maciça	M/mf/lp/lpj	-
P6- Gleissolo Sálico Sódico típico							
Agnk	0-10	Gley 2 7/1	-	-	maciça	M/mf/lp/lpj	Clara/plana
2Cgnk1	10-19	10YR 6/2	10YR 6/8	abundante/pequeno/distinto	maciça	M/mf/lp/lpj	Clara/plana
2Cgnk2	19-25	Gley 1 7/N	10YR 6/8	abundante/pequeno/proeminente	maciça	LD/Mf/lp/npj	Clara/plana
2Cgnk3	25-30+	Gley 1 7/N	10YR 6/8	abundante/pequeno/proeminente	maciça	LD/mf/lp/lpj	-

* seca: macia (M), ligeiramente dura (LD), dura (D); Úmida: muito friável (mf), friável (fr), firme (f), muito firme (Mf); Plasticidade: não plástica (np), ligeiramente plástica (lp), plástico (p), muito plástico (mp); Pegajosidade: não pegajosa (npj), ligeiramente pegajosa (lpj), muito pegajoso (mpj).

Figura 6 – Perfis dos solos do *apicum* dos estuários do rio Aracatiaçu: P1 (A), P2 (B), P3 (C) e rio Pacoti: P4 (D), P5 (E), P6 (F).



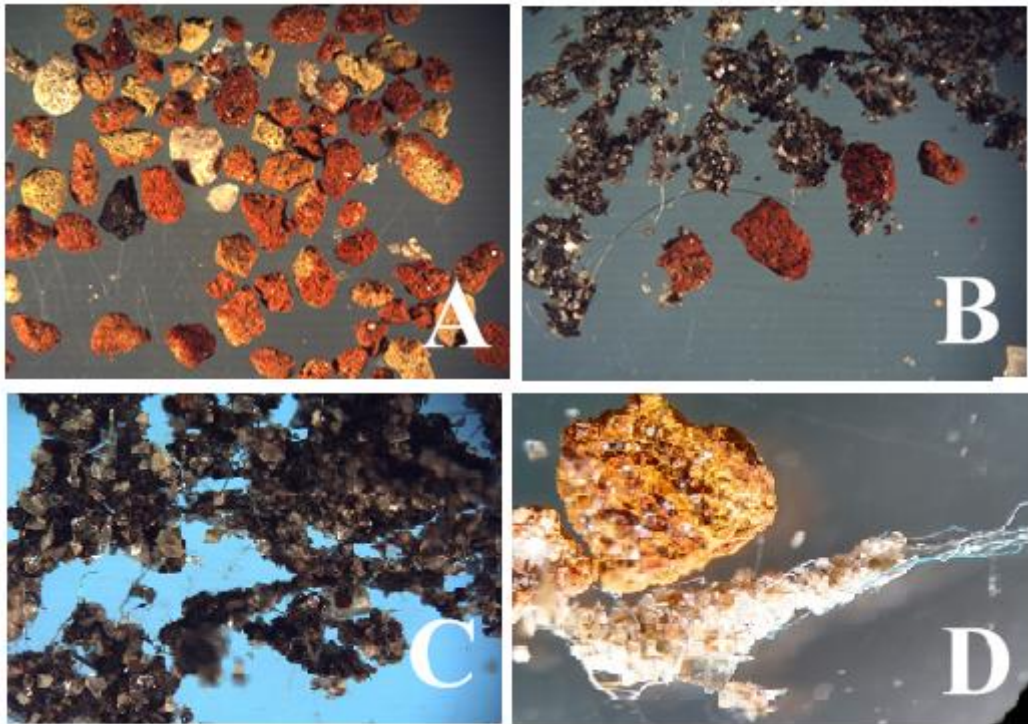
Fonte: Autora.

Na estruturação, há diferenciação entre os estuários quanto ao elemento cimentante para a formação dos agregados (Figuras 7 e 8). No caso dos solos de Aquiraz, a cimentação ocorre por ciclos de umedecimento e secagem, assim como deposição de óxidos de ferro (*vide* capítulo 2).

Já nos solos de Icarai de Amontada, a predominância é de cimentação por compostos orgânicos (Figura 7 B,C,D), com aumento da atividade no sentido P1→P3. Tal observação corrobora a ideia de que a atividade dos organismos é um fator chave para o desenvolvimento de estrutura e, conseqüentemente em longo prazo, um maior amadurecimento do solo (ELLIS; ATHERTON, 2003). Assim, a associação de microrganismos como as algas, cianobactéria, diatomáceas e fungos são os principais responsáveis pela formação de biofilme na superfície dos solos estuarinos (PIRES; LACERDA, 2008) que vem a contribuir para esta evolução.

De fato, é evidente na fração de 1 a 2 mm de P3 que a atividade fungica (Figura 7), expressa pela presença de hifas (Figura 7D), é responsável pelo início de agregação das frações minerais do solo da porção mediana e baixa do *apicum*.

Figura 7 – Formação de pequenos agregados promovida pelo processo de oxi-redução do ferro (A, B) e por atividade biológica (B, C, D) nos solos do estuário do rio Aracatiaçu. P1 0-12 cm (A), e P3 61-86 cm (C,D,E).



Fonte: Autora.

Neste caso, a condição de baixo pH (5,7; Tabela 3), aliado aos baixos teores de alumínio ($0,57 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$; Tabela 3), favorece o estabelecimento de fungos (ASSIS *et al.*, 2014). São escassos os trabalhos que envolvam atividade fungica em solos alagados (*wetlands*; BALSER *et al.*, 2010), pois acreditava-se que condições de anaerobiose não favoreceriam o desenvolvimento destes microrganismos. No entanto, estudos mostram intensa atividade de fungos (MENTZER; GOODMAN; BALSER, 2006; ANUPAM, 2003).

Tabela 3 – Propriedades químicas dos solos de *apicum* estudados no estuário do rio Pacoti-Ce.

Horizonte	Prof. cm	CO %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	SB	CTC	CE dS.m ⁻¹	V -----%-----	PST	m	CaCO ₃ g.Kg ⁻¹	pH H ₂ O	KCl
			-----cmolc kg ⁻¹ -----														
P1- Gleissolo Sálico Sódico típico																	
Cn1	0-12	0,39	0,93	4,17	1,42	0,69	4,17	0,00	7,21	11,38	18,14	63,37	12,47	0,00	43,25	8,7	7,9
Cn2	12—20	0,41	0,63	4,17	1,66	0,64	4,17	0,10	7,10	11,27	11,27	63,00	14,73	1,39	40,00	8,3	7,3
Cgn3	20-38	0,39	0,53	3,50	0,63	0,37	3,50	0,00	5,03	8,53	9,51	58,98	7,38	0,00	37,00	8,4	7,4
Cggn4	38-59	0,38	0,90	4,23	2,08	0,57	4,23	0,37	7,78	12,01	10,92	64,79	17,31	4,54	45,50	8,4	7,3
Cgnk5	59100+	0,74	0,80	3,83	0,74	0,40	3,83	0,00	5,77	9,60	12,33	60,09	7,71	0,00	69,75	8,1	7,1
P2- Gleissolo Sálico Órtico típico																	
Cn1	0-11	0,61	0,57	2,56	0,48	0,30	2,56	0,37	3,91	6,47	21,13	60,44	7,42	8,64	38,25	8,0	7,5
Cgnk2	11-35	0,47	0,57	3,30	0,64	0,30	3,30	0,17	4,81	8,11	16,91	59,33	7,89	3,41	58,00	8,2	7,6
Cgn3	35-50	0,34	0,50	3,77	0,75	0,38	3,77	0,17	5,40	9,17	17,08	58,88	8,18	3,05	47,50	8,2	7,5
Cgn4	50-84+	0,39	1,13	4,17	0,66	0,40	4,17	0,40	6,36	10,53	17,61	60,39	6,27	5,92	41,75	8,2	7,6
P3- Gleissolo Sálico Sódico tônico																	
Ck1	0-4	0,45	3,27	3,70	0,47	0,23	3,70	0,00	7,67	11,37	16,99	67,47	4,13	0,00	78,00	8,9	8,6
Cgnk2	4-23	0,39	1,10	4,57	1,88	0,91	4,57	0,00	8,46	13,03	18,67	64,93	14,43	0,00	62,50	7,9	7,4
CgnK3	23-39	0,47	1,50	5,30	2,15	1,05	5,30	0,23	10,00	15,30	19,90	65,35	14,06	2,25	53,25	7,8	7,2
Cgn4	39-61	0,67	1,33	5,04	2,64	0,96	5,04	0,20	9,97	15,01	18,67	66,43	17,58	1,97	44,50	7,6	6,9
Cgnk5	61-86+	7,82	7,57	14,56	8,94	2,30	14,56	0,57	33,37	47,93	29,50	69,62	18,65	1,68	63,50	5,7	4,7
P4- Gleissolo Sálico Sódico típico																	
Agnk	0 – 7	1,13	3,10	1,00	39,97	22,55	2,60	0,10	66,62	69,22	29,50	96,24	57,74	0,15	58,75	7,4	6,1
2Cgnk1	7 – 23	0,50	0,30	0,80	9,75	7,11	2,60	0,10	17,96	20,56	23,68	87,35	47,42	0,55	62,40	8,4	6,3
3Cgnk2	23 – 34	0,56	0,50	2,20	19,39	9,21	2,40	0,10	31,30	33,70	20,07	92,88	57,54	0,32	59,50	8,3	6,1
3Cgnk3	34 –45+	0,68	0,50	1,80	20,13	9,78	2,40	0,10	32,21	34,61	17,96	93,07	58,16	0,31	57,25	8,4	6,5
P5- Gleissolo Sálico Sódico típico																	
Agnk	0 – 4	0,49	0,50	1,40	7,08	7,68	2,20	0,10	16,66	18,86	31,70	88,34	37,54	0,60	62,50	8,5	6,7
Cgnk2	4 – 12	0,46	0,50	2,00	18,64	12,73	2,60	0,10	33,87	36,47	28,62	92,87	51,11	0,29	62,50	8,4	5,9
Cgnk3	12 – 21	0,41	0,30	1,80	16,63	10,57	2,80	0,30	29,30	32,10	28,18	91,28	51,81	1,01	60,50	8,0	6,0
Cgn4	21– 28	0,54	0,30	1,20	17,58	10,02	2,80	0,10	29,10	31,90	27,73	91,22	55,11	0,34	48,75	7,9	5,7
Cgnk5	28 – 34	0,62	0,70	1,00	16,31	10,51	2,80	0,30	28,52	31,32	26,85	91,06	52,08	1,04	59,75	8,0	5,9
Cgnk6	34 –50+	0,61	0,30	1,20	16,54	10,35	2,90	0,30	28,39	31,29	28,62	90,73	52,86	1,05	57,50	8,1	5,8
P6- Gleissolo Sálico Sódico típico																	
Agnk	0 – 10	0,82	0,50	1,60	7,37	8,2	2,20	0,10	17,67	19,87	32,58	88,93	37,09	0,56	62,50	8,7	8,2
2Cgnk1	10 – 19	0,83	0,50	1,80	38,1	16,3	2,40	0,10	56,74	59,14	34,78	95,94	64,49	0,18	62,50	8,3	6,7
2Cgnk2	19 – 25	0,77	0,30	1,20	17,21	10,83	2,80	0,30	29,54	32,34	35,22	91,34	53,22	1,01	62,50	8,4	6,2
2Cgnk3	25 –30+	0,85	0,50	1,80	19,3	10,5	2,80	0,10	32,12	34,92	44,02	91,98	55,27	0,31	54,25	8,5	6,3

Além disso, observou-se que na profundidade onde foi verificada a atividade microbiana, há elevado teor de carbono orgânico (7,82%; Tabela 3), quando comparado com os demais horizontes (C.O.< 0,7%; Tabela 3). Neste caso, também indica a presença de um mangue soterrado, afinal o valor de pH (5,7, Tabela 3), evidencia a presença de material sulfídrico, também corroborando com esta ideia.

Já nos perfis do estuário do rio Pacoti, o mesmo não pôde ser verificado, uma vez que a elevada salinidade, devido ao contato com a água do mar, expressa nos maiores de CE (17-44 dS.m⁻¹ Tabela 3) e intensa deposição de bases (17<SB<67 cmol_c.kg⁻¹; Tabela 3), influenciam diretamente nos valores de pH (7,4-9,7; Tabela 3), dificultando, assim, o estabelecimento de fungos que poderiam vir a contribuir para a estruturação do solo.

Assim quando foram comparadas as duas áreas de estudo, percebeu-se que os maiores valores de CE estão relacionados com o estuário do rio Pacoti. A princípio esta informação vai de encontro aos dados pluviométricos, pois há diferença entorno de 300 mm de chuvas (Figuras 2 e 6). Logo, esperavam-se dados inferiores aos determinados para CE neste estuário.

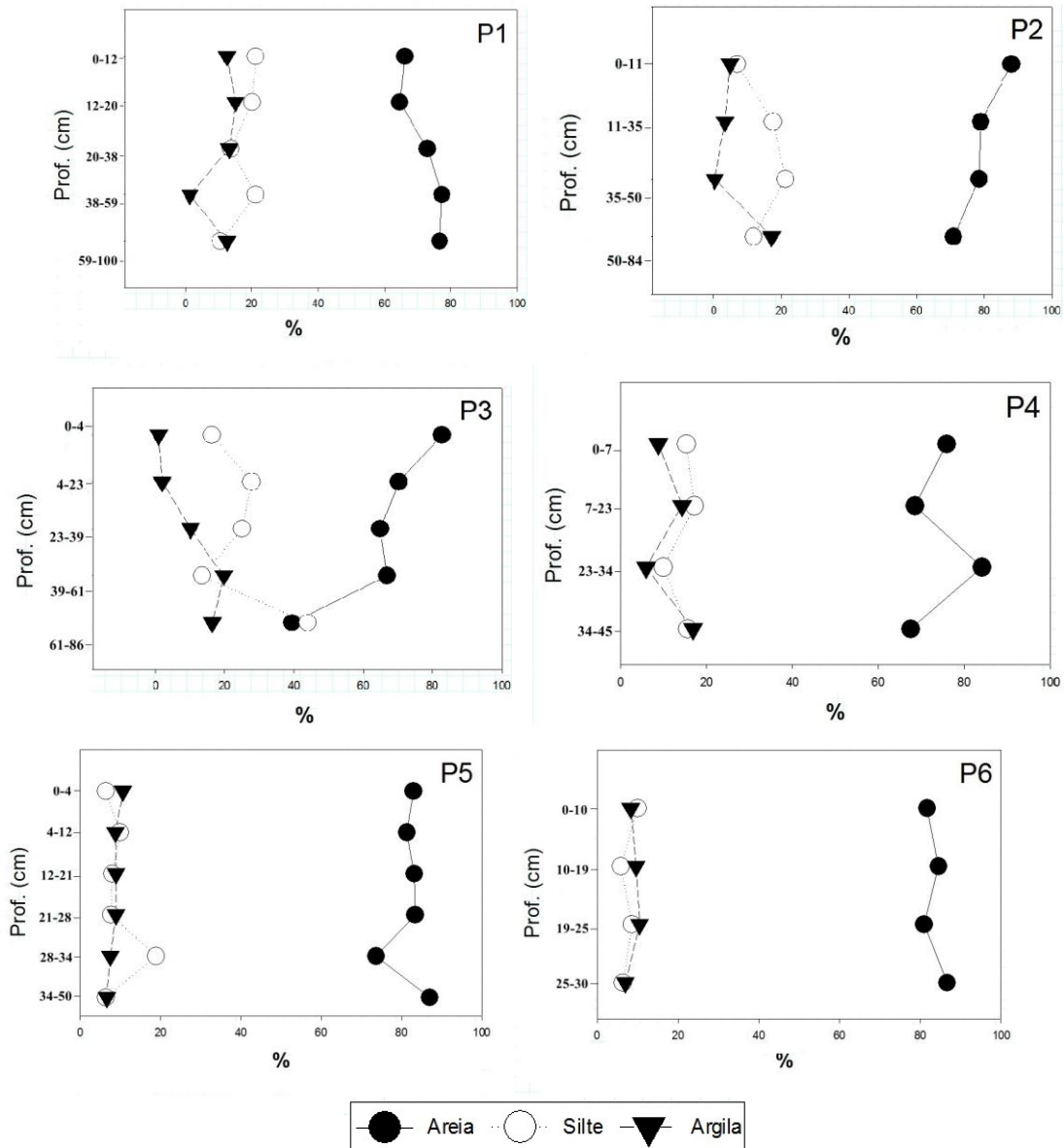
No entanto, por se tratar de um rio de grande importância no quesito abastecimento de água para a Região Metropolitana de Fortaleza (CEARÁ, 2010; CEARÁ, 2009), existem barragens, como por exemplo, do complexo hídrico Pacoti e Riachão (capacidade entorno de 280 milhões de m³), que impede grande parte do fluxo de água que portaria na região estuarina (CEARÁ, 2010). Desta forma, ocorre o avanço da água do mar nos domínios fluvial do rio Pacoti (MORAIS; PINHEIRO, 2011).

Quanto ao estuário do rio Aracatiaçu, a quantidade de água armazenada nas barragens (CEARÁ, 2004) são menores quando comparadas com a bacia do rio Pacoti. Assim, há menores valores de CE (9<CE<30 dS.m⁻¹; Tabela 3) devido diluição da água do mar pelas águas do rio.

Além dos efeitos supracitados, os barramentos podem também interferir na dinâmica de sedimentos que aportam nos estuários (PINHEIRO; MEDEIROS; MORAES, 2006). Isto significa que, no estuário do rio Pacoti, deve haver supressão no aporte de sedimentos na região estuarina. De tal modo, devido a sua posição na costa cearense, o maior aporte de sedimento é proveniente de origem marinha (*vide*

capítulo 2), promovendo elevada quantidade de areia (Figura 8), com médias de 74% (P4), 81, 96% (P5) e 83,44% (P6).

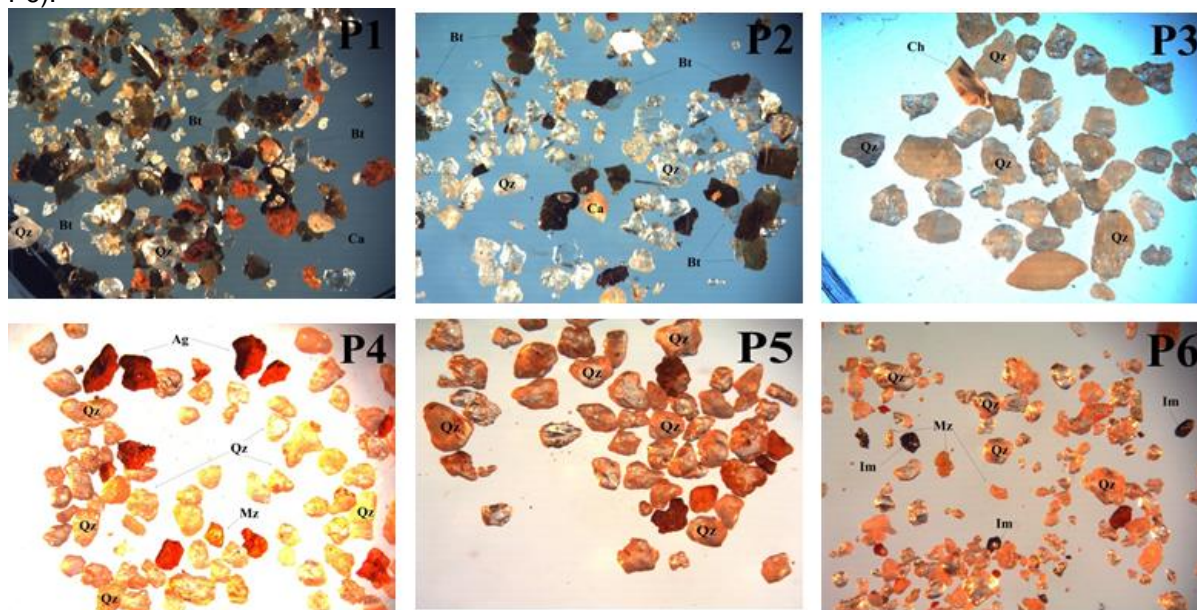
Figura 8 – Granulometria dos solos do estuário do rio Aracatiaçu (P1, P2,P3) e Pacoti (P4,P5,P6).



Fonte: Autora.

Da mesma forma, mesmo havendo maior concentração de chuva em Aquiraz, a intemperização da areia tende a ser mais lenta, pois a sua composição mineralógica é composta em grande parte por quartzo (Figura 9), dificultando formação de argilas. Ao contrário do estuário a noroeste que apresenta uma geologia com minerais menos resistentes e apresenta menor aporte de água pluvial.

Figura 9 – Minerais da fração areia dos estuários dos rios Aracatiaçu (P1, P2, P3) e Pacoti (P4, P5, P6).



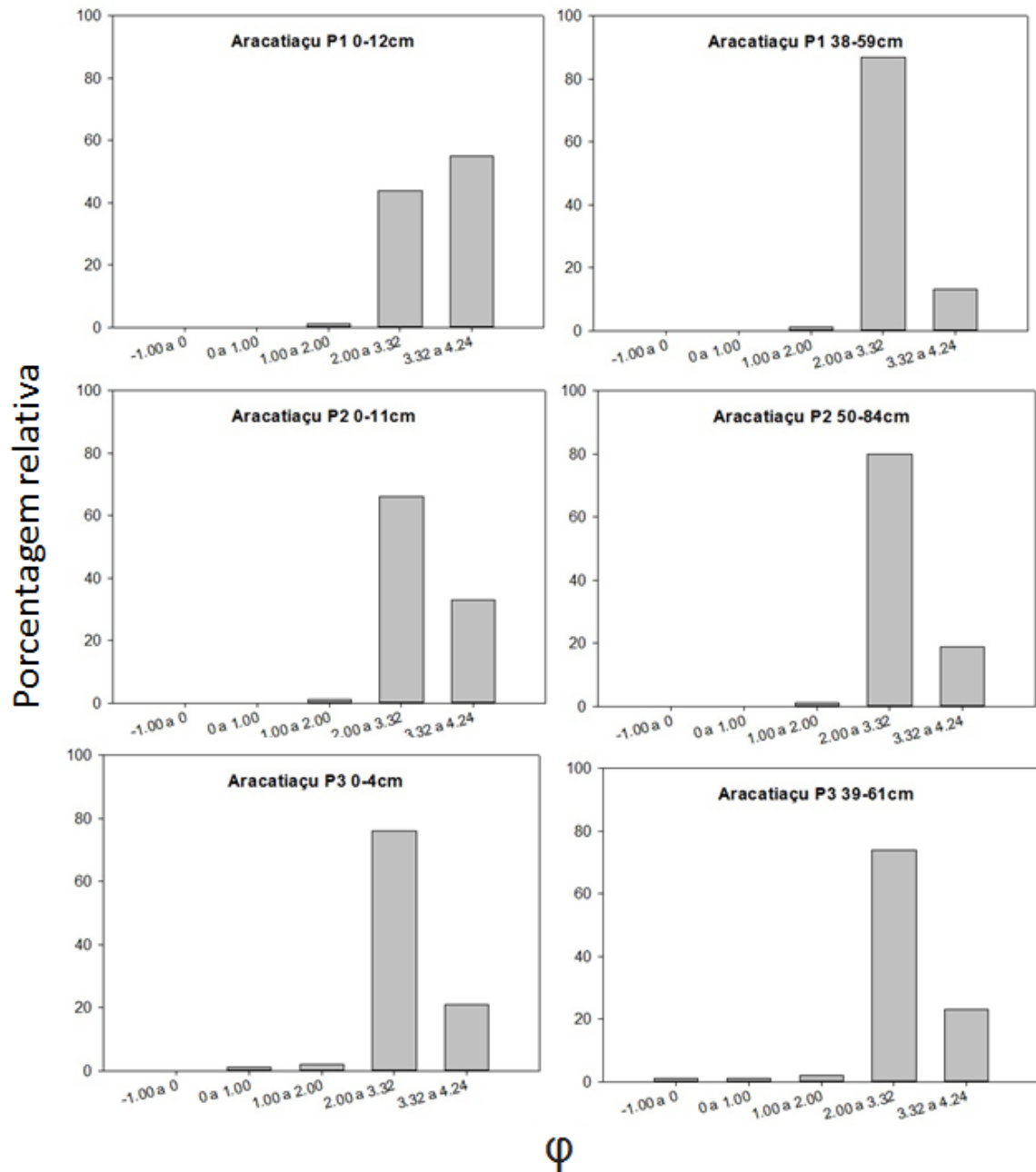
Fonte: Autora.

Qz- quartzo; Bt- biotita; Tu- turmalina, Im- ilmenita; Mz, monazita; Ag- agregado; Ca- calcita; Ch- fragmento de concha.

Em relação ao Aracatiaçu, há maior quantidade de mineral primário de baixa resistência à intemperização (por exemplo, biotita; Figura 9), em comparação com o outro estuário estudado. Neste caso, esperava-se elevados valores para argila. No entanto, não difere da quantidade desta fração em relação aos solos do rio Pacoti. Isto porque, os minerais mesmo possuindo menor resistência à intemperização, permanecem por mais tempo no ambiente devido ao clima, produzindo solos com elevados valores de silte ($10 < P1 < 21\%$; $6 < P2 < 21\%$ e $13 < P3 < 27\%$; Figura 8), mas não suficiente para formar solos essencialmente argilosos.

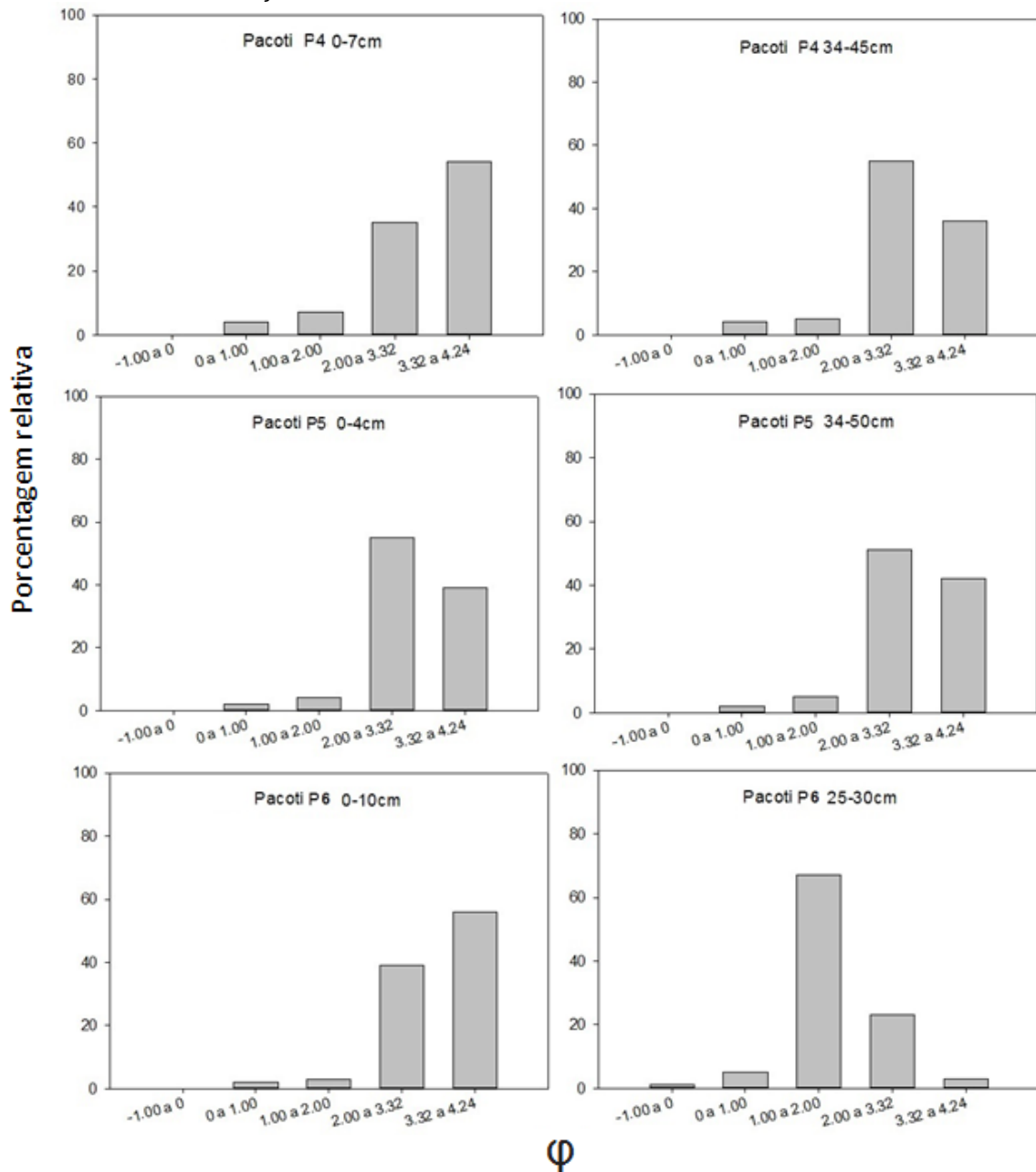
No fracionamento da areia foi possível perceber o predomínio de areia fina a muito fina em ambos os estuários (Figuras 10 e 11). Estes resultados corroboram a ideia de que a região costeira possui o predomínio de sedimentos arenosos provenientes dos últimos eventos transgressivos e regressivos, uma vez que as frações dominantes são de areia fina a muito fina, como relatam Villwock *et al.* (2005).

Figura 10 – Histogramas da fração areia, expressos em valores de intervalos de ϕ dos solos do *apicum* do estuário do rio Aracatiçu.



Fonte: Autora.

Figura 11 – Histogramas da fração areia, expressos em valores de intervalos de ϕ dos solos do estuário do rio Aracatiaçu.



Fonte: Autora.

A análise estatística de distribuição da areia (Tabela 4; FOLK; WARD,1957), bem como os histogramas (Figuras 10 e 11), indicam que há predominância de areia bem selecionada a moderadamente bem selecionada nos dois estuários (Tabela 4).

No caso, apenas dois perfis (P2- Aracatiaçu e P6- Pacoti; Tabela 4) possuem divergentes dados de grau de simetria (SK_i), evidenciando distintas fontes de material de origem.

Tabela 4 – Medidas estatísticas da distribuição de partículas da fração areia

Horizonte	Mz	ϕ_1	SK ₁	K _G	Grau de seleção
<i>P1- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>					
0-12	3,302	0,474	-0,212	1,027	BS
38-59	2,890	0,411	0,068	1,159	BS
<i>P2- Gleissolo Sálco Órtico típico</i>					
0-11	3,079	0,514	-0,026	0,985	MdBS
50-84	2,967	0,443	0,071	1,127	BS
<i>P3- Gleissolo Sálco Sódico tônico</i>					
0-4	2,931	0,509	0,039	1,060	MsBS
39-61	2,954	0,517	0,029	1,042	MsBS
<i>P4- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>					
0 – 7	0,571	0,128	-4,606	0,605	MBS
34 – 45	0,556	0,171	-2,516	0,317	MBS
<i>P5- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>					
0 – 4	0,614	0,129	-3,222	0,451	MBS
34 – 50	0,598	0,132	-3,484	0,439	MBS
<i>P6- Gleissolo Sálco Sódico típico</i>					
0 – 10	0,637	0,067	-7,331	6,582	MBS
25 – 30	1,791	0,617	+0,217	1,366	MdBS

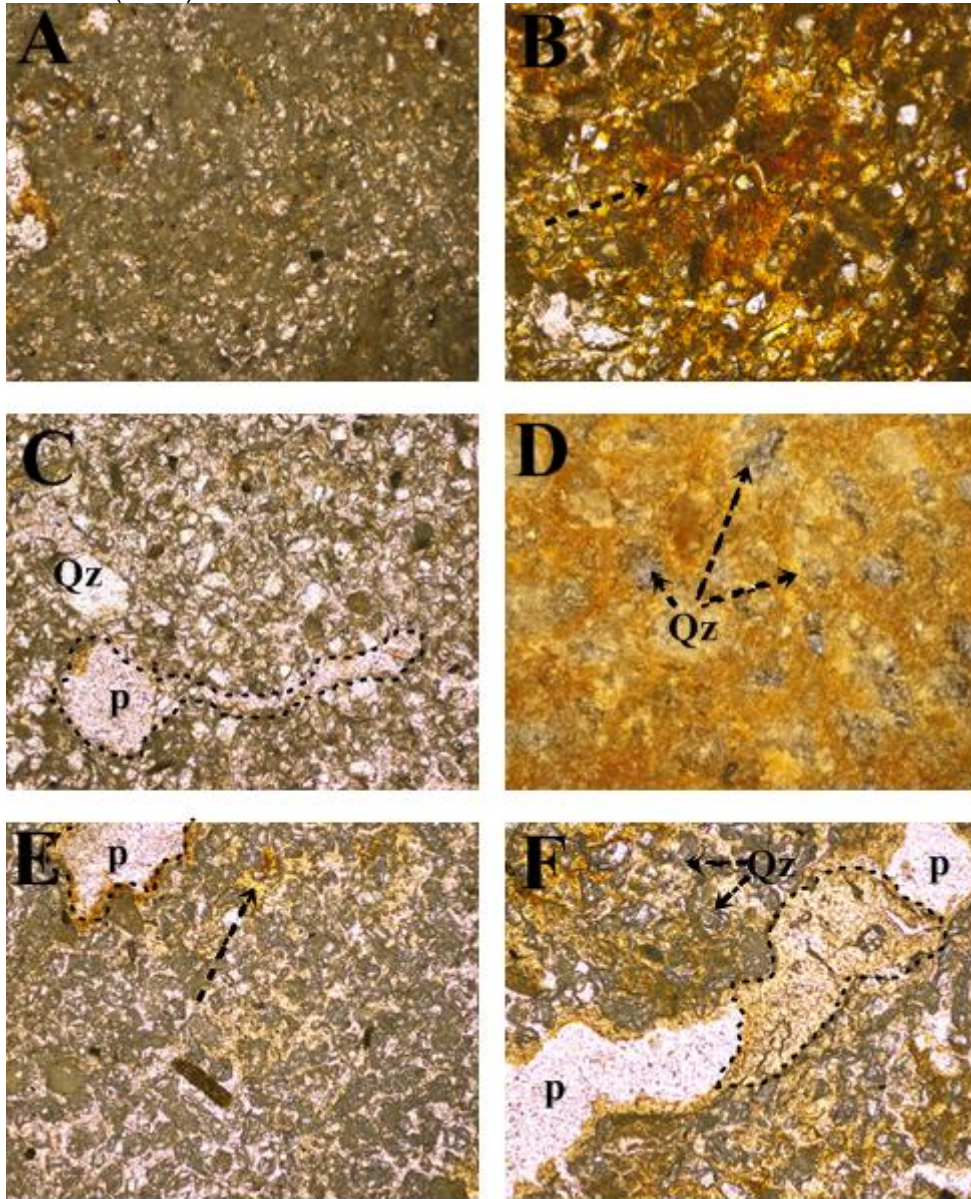
Mz- média gráfica; ϕ_1 - desvio padrão; SK₁- grau de simetria; K_G- curtose; BS- Bem selecionado; MBS- Muito bem selecionado; MdBS- moderadamente bem selecionado.

Os solos estudados, em ambos os estuários, contém material pedal com microestrutura maciça, expressando fraco grau de desenvolvimento (Figuras 12 e 13; BULLOCK *et al.*, 1995).

Assim, o material grosseiro é constituído predominantemente por quartzo bem selecionado, representando cerca de 30% do volume em P1 e 40% nos demais perfis. O material grosseiro encontra-se envolto por uma massa densa de material fino, com distribuição relativa porfírica (Figuras 12 e 13; BULLOCK *et al.*, 1995).

Os poros são do tipo canal (Figuras 12C,E,F) decorrente de atividade biológica, principalmente no ultimo perfil do Aracatiaçu (Figura 12F). Entre as feições pedológicas, é possível observar poros fissurais em subsuperfície (Figura 12B), decorrente de atividade de argila expansiva e também há poros de dissolução (Figura 13A) em todos os solos estudados.

Figura 12 – Micrografias de lâminas dos perfis de solo do estuário do rio Aracatiaçu. P1: 5-15 cm (A) e 43-53 cm (B); P2: 5-15cm (C) e 64-74 cm (D); P3: 4-14 cm (E e F).



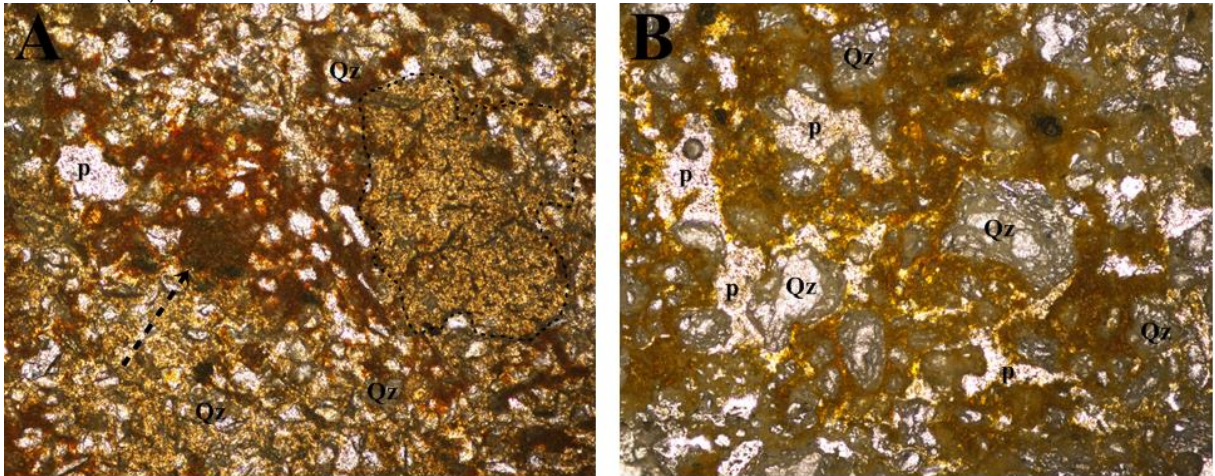
Fonte: Autora.

Além disso, existem poros revestidos por argilas (Figuras 12 B, E; 13A, B), com posterior preenchimento de carbonato de cálcio nos perfis do rio Aracatiaçu (Figura 12 C, E, F), sugerindo mudança de períodos mais úmidos que favoreceu a translocação da argila, com posterior período mais seco, onde há acumulação de carbonato de cálcio secundário (SILVA *et al.*, 2013).

Geralmente, o processo de acúmulo de carbonato de cálcio acontece em um curto período de tempo (COURTY; FÉDOROFF, 1985), indicando que estes solos são de formação recente.

Já nos perfis do estuário do rio Pacoti, há forte preenchimento dos poros por argila e óxidos de ferro (Figura 13), decorrente dos processos de oxi-redução promovidos pela flutuação do lençol freático, necessitando de um período de tempo maior para o seu desenvolvimento.

Figura 13 – Micrografias de lâminas dos perfis de solo do estuário do rio Pacoti. P5: 0-12 cm (A) e P6: 16-30 cm (B).



Fonte: Autora.

4 CONCLUSÃO

Sabendo-se da importância dos *apicuns*, é de suma relevância o estudo detalhado de sua evolução dentro do ecossistema. Desta forma, verificou-se que os solos do *apicum* a noroeste (estuário do rio Aracatiaçu) possuem menor grau de desenvolvimento, em comparação com os outros solos estudados.

A gênese dos solos de ambos os estuários é regida tanto pelo relevo, no âmbito local, como por processos sedimentológicos e hidrológicos, com passível modificação pelas atividades antrópicas. Além disso, a atividade biológica tem maior participação no incipiente processo de agregação, bem como na formação de poros nos solos que situam-se no *apicum* a noroeste do Estado. Já nos *apicuns* a Sudeste, a pedogênese é regida pelos processos oxi-redutivos.

Desta forma, o presente estudo indica evidências fundamentais para o entendimento da gênese dos solos de *apicum*, bem como para a contribuição de futuros estudos ambientais que envolvam este ambiente hipersalino, uma vez que são disponibilizados dados primários que auxiliam na compreensão das funções ecológicas, envolvendo fluxos de energia e ciclagem de matéria neste subsistema.

REFERÊNCIAS

ANUPAM, B. Mycorrhizae in wetlands: a review. **Int J Forest Manage**. v. 4, p. 34–40. 2003

AOAC. **Official methods of the Association of Agricultural Chemists**. 11 ed. (Association of Official Agricultural Chemists: Washington, DC). 1970.

ASSIS, P.C.R.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; PAULINO, H.B.; STURMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O.; CANEIRO, A.M.C. Fungos micorrízicos arbusculares em campos de murundus após a conversão para sistemas agrícolas no cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 38:1703-1711, 2014

BALSER, T.C.; WIXON, D.; MORITZ, L.K.; LIPPS, L. **The Microbiology of Natural Soils**. In.: G.R. Dixon and E.L. Tilston (eds.), *Soil Microbiology and Sustainable Crop Production*, DOI 10.1007/978-90-481-9479-7_2, Springer Science+Business Media B.V. p. 27- 57. 2010

BARRA, O.A.O.L.; SILVA, N.S.; LIMA, D.B.; VASCONCELOS, F.P. Caracterização geoambiental e os conflitos existentes na sub-bacia hidrográfica do baixo Pacoti, Ceará – Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, v. 16, n. 2, p. 66-83, 2014.

BOWER, C.A., REITEMEIER, R.F., FIREMA, N. M. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. **Soil Science**, n.73, p. 251–262. 1952 doi:10.1097/00010694-195204000-00001.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton, Waine Research Publications, 1985. 152p.

CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE. **Corredor ecológico do rio Pacoti**. 2010.
Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/2010/12/corredor-ecologico-do-rio-pacoti/>
Acessado em: 03. maio.15.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Estudos de Alternativas, EIAS/RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra / Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada. **Relatório Geral**. 2004. 189p.
Disponível em: <http://www.srh.ce.gov.br/categoria2/categoria2/MISSI-%20Plano-de%20Reassentamento-Tomo-I-Relatorio-Gera-%20Parte-113112008095633.pdf>
Acessado em: 03. maio.15.

CEARÁ. Secretaria do desenvolvimento urbano e meio ambiente – SDU/ Superintendência estadual do meio ambiente – SEMACE. **Composição florística e estrutura dos bosques de mangues dos rios Ceará, Cocó e Pacoti**. Fortaleza, 1994.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. **Anuário de Monitoramento Quantitativo dos Açudes Gerenciados pela COGERH do Ceará**. Fortaleza, 2009.

COURTY, M.A.; FÉDOROFF, N. Micromorphology of recent and buried soils in a semiarid region of northwestern Índia. **Geoderma**, 35, p. 287-332, 1985.

BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/ Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Técnicas de coleta e preparação de amostras para micromorfologia com otimização do processo de impregnação**. Planaltina- DF: Embrapa Cerrado, 2002. 20p.

FERREIRA, T. O.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X. L.; MACIAS, F. Are mangrove forest substrates sediments or soils? A case study in Southeastern Brazil. **Catena**, v. 70, p. 79 – 91. 2007.

FOLK, R.L.; WARD. W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**. Tulsa, Okla., n.27, p. 3- 27. 1957.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário das chuvas no Estado do Ceará**. 2015. Disponível em:<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario?data=h oje>
Acessado em 10 abr. 2015.

GEE, G.W., BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd edn. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: Madison, WI, USA. p. 383–411. 1986.

GORAYEB A.; SILVA, E. V. da; MEIRELES, A. J. de A. “Meio ambiente e condições de sustentabilidade da planície flúvio marinha do Rio Pacoti – Ceará – Brasil”. In: **Geoambiente online** (Revista Eletrônica do curso de Geografia do Campus Avançado de Jataí – GO). 2004. Disponível em:
<http://www.revistas.ufg.br/index.php/geoambiente/article/view/25861/14852>
Acessado em 08/2014.

GORAYEB, A. **Impactos Sócioambientais e Propostas de Manejo Sustentável para a Planície Flúvio-Marinha do Rio Pacoti-CE**. Relatório de Graduação- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

GONÇALVES, F. C. A.; NOGUEIRA, J. F. Elaboração do mapa de predisposição à erosão na microbacia do rio aracatiaçu (CE) utilizando técnicas de geoprocessamento. **Rev. da Casa da Geog. de Sobral**, Sobral, v. 8/9, n. 1, p. 81-93, 2007.

IPECE. **Ceará em mapas: Caracterização territorial- Meio ambiente. 2007.**

Disponível em:

http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/pdf/Tipos_Climaticos.pdf

Acessado em: 01. Maio. 2015.

IPECE. **Mapas das regiões hidrográficas do Ceará.** 2002. Escala 1:100.000.

IPLANCE. **Mapa de solos do Estado do Ceará.** Fortaleza, 1992. 1CD-ROOM.

JONG van LIER Q, VIDAL-TORRADO P. Phi: programa de microcomputador para análise estatística da granulometria de sedimentos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** n.16, p. 277–281. 1992.

JOSHI, H.; GHOSE, M. Forest structure and species distribution along soil salinity and pH gradient in mangrove swamps of the Sundarbans. **Tropical Ecology**, v. 44, n. 2, p. 197-206, 2003.

KRUMBEIN, W.C. Size frequency distribution of sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, n. 4, p.65–77. 1934. doi:10.1306/D4268EB9-2B26-11D7-8648000102C1865D

LIMA, M.W.; SANTOS, M. L. S.; MONTELO, D. J.; NUNES, D. M.; ALVES, I. C. C.; SILVA, M. S. F. Análise temporal da composição granulométrica de um estuário amazônico, Pará, Brasil. **Scientia Plena.** v. 11, n. 1, p. 1-11. 2015.

MARQUES, A.G.B.; FERREIRA, T.O.; NÓBREGA, G.N.; ROMERO, R.E. ; SOUZA JUNIOR, V.S.; MEIRELES, A.J.A.; OTERO, X.L. Soil genesis on hyper Saline tidal flats (*apicum* ecosystem) in a tropical semiarid estuary (Ceará, Brazil). **Soil Research**, 2014. <http://dx.doi.org/10.1071/SR13179>

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH₄.** STDP No. 1-53. (Soil Testing Division, Department of Agriculture: Raleigh, NC, USA). 1953.

MEIRELES, A. J. A.; GORAYEBE, A.; THIERS. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Mercator- Rev. de Geog. da UFC**, v. 8, p. 109-134, 2005.

MENTZER, J., GOODMAN, R. BALSER, T. Microbial response over time to hydrologic and fertilization treatments in a simulated wet prairie. **Plant Soil** 284(1–2):85–100. 2006

METSON, A.J. **Methods of chemical analysis for soil survey samples.** (New Zealand Soil Bureau: Wellington, New Zealand). 1956.

MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S. The effect of semi-aridity and damming on sedimentary dynamics in estuaries -Northeastern region of Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 1540- 1544. 2011.

NASCIMENTO, F.R. Conservação do meio ambiente e bacia hidrográfica: elementos para sustentabilidade do desenvolvimento. **Sociedade & Natureza**, n.17, v. 32. p. 87-1001. 2005.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney, D.R. (ed.) **Methods of soil analysis** – chemical and microbiological properties. Part 2, 2 ed. Madison: American Society of Agronomy e Soil Science Society of America. cap. 29, p.539-579. 1982.

OLIVEIRA, A.C.C.A.; SOUZA, R.M. Dinâmica da paisagem e proposição de cenários ambientais: um estudo da planície costeira de Estância, Sergipe, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, n. 12, v.2, p. 175-193. 2012.

PINHEIRO, L.S.; MORAIS, J.O. Interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do rio Catú-Ceará-Nordeste do Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 2, p. 237-250. 2010.

PINHEIRO, M.V.A. **Evolução geoambiental e geohistórica das dunas costeiras do município de Fortaleza-Ce**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2009. 182p.

PIRES, L.C.; LACERDA, L.D. piratas framboidais associadas ao biofilme em sedimentos de manguezal de Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ. **Geochimica Brasiliensis**, n. 22, v. 3. p. 201-212, 2008.

POWERS, M. C. Size analysis of sands by a sedimentation technique. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 460-468. 1953.

QUAGGIO, J.A.; VAN RAIJ, B.; MALLAVOLTA, E. Alternative use of the SMP buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. n. 16, p. 245–260. 1985.
doi:10.1080/00103628509367600

RHOADES, J.D. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: *Methods of soil analysis: Chemical methods. Part 3'*. (Ed. DL Sparks). **Soil Science Society of America**: Madison, WI, USA. 1996

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**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 6ª ed. Campinas, 2013, 100p.

SAVENIJE, H. H. G.; PAGÈS, J. Hypersalinity: a dramatic change in the hydrology of Sahelian estuaries. **Journal of Hydrology**, v. 135, p. 157-174, 1992.

SILVA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; COOPER, M.; CAVASSANI, R.S. Gênese e classificação dos solos de uma toposequência em área de carste na serra da Bodoquena, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:p.1464-1480. 2013.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Soil survey manual**. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service: Washington, DC. n. 18. 1993

SUMNER M.E., MILLER W.P. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In 'Methods of soil analysis, Part 3'. (Chemical methods. **Soil Science Society of America**: Madison, WI, USA). 1996.

VILLWOCK, J.A.; LESSA, G.C.; SUGUIO, K.; ANGULO, R.J. & DILLENBURG, S.R. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto, Hollos, 2005. p.94-113.

CAPÍTULO 4

Pedogeoquímica do ferro em ambiente hipersalino no litoral Noroeste do Ceará

RESUMO

Os *apicuns* são áreas cujos processos sedimentológicos e hidrodinâmicos atuam diretamente na geoquímica de seus solos. Desta forma, foram realizadas investigações comparativas envolvendo análises de extração sequencial de ferro, granulometria e determinação de parâmetros químicos para o entendimento da geoquímica existente nos solos de dois estuarinos localizados a noroeste do Estado do Ceará. Os resultados evidenciaram o predomínio de condições óxicas (P1, P2: Eh > 300 mV e P3, P4, P5: Eh > 450 mV); baixo teor de carbono orgânico (P1, P4, P5 < 0,7%; P2 < 2,6%; P3 < 7,8%); elevados valores de pH do solo (P1, P2: pH > 7,0 e P3, P4, P5: pH > 7,5); condutividade elétrica de P1, P2 > 25 dS.m⁻¹ e P3, P4, P5 > 37 dS.m⁻¹ e carbonato de cálcio de P1, P2 > 22 g.kg⁻¹ e P3, P4, P5 > 28 g.kg⁻¹, caracterizando ambiente de deposição de sais. Além disso, há elevados teores de ferro proveniente dos oxi-hidroxidos de ferro (ferridrita, lepidocrocita e goethita; P1: 30-10 μmol.g⁻¹; P2: 34-103 μmol.g⁻¹; P3: 15-29 μmol.g⁻¹; P4: 27-84 μmol.g⁻¹; P5: 17-138 μmol.g⁻¹) e baixos teores envolvendo o ferro pirítico (P1: 0-59,40 μmol.g⁻¹; P2: 0-151,00 μmol.g⁻¹; P3: 0-0,31 μmol.g⁻¹; P4: 0-0,76 μmol.g⁻¹; P5: 0-0,02 μmol.g⁻¹). Assim os solos estudados são predominantemente óxicos, favorecendo a formação de oxi-hidroxidos de ferro em detrimento do material pirítico.

Palavras-chave: Sequencial de ferro. Pirita framboidal. Condições óxicas.

ABSTRACT

The *apicuns* are areas whose sedimentological and hydrodynamic processes act directly on the geochemistry of their soils. Thus, was performed comparative investigations involving sequential analysis of iron extraction, grain size and determination of chemical parameters for understanding the existing geochemistry in two estuarine land located Northwest of Ceará. The results showed the predominance of oxic conditions (P1, P2: Eh > 300 mV and P3, P4, P5: Eh > 450 mV); low organic carbon content (P1, P4, P5 < 0.7%; P2 < 2.6%; P3 < 7.8%); high soil pH values (P1, P2 pH > 7.0 and P3, P4, P5 pH > 7.5); electrical conductivity P1, P2 > 25 dS.m⁻¹ and P3, P4, P5 > 37 dS.m⁻¹ and calcium carbonate P1, P2 > 22 g.kg⁻¹ and P3, P4, P5 > 28 g.kg⁻¹, featuring salts deposition environment. Moreover, there are high levels of iron from the iron oxy-hydroxides (ferrihydrite, lepidocrocite and goethite; P1: 30-10 μmol.g⁻¹; P2: 34-103 μmol.g⁻¹; P3: 15-29 μmol.g⁻¹; P4: 27-84 μmol.g⁻¹; P5: 17-138 μmol.g⁻¹) and low levels involving the pyritic iron (.P1: 0-59.40 μmol.g⁻¹; P2: 0-151.00 μmol.g⁻¹; P3: 0-0.31 μmol.g⁻¹; P4: 0-0.76 μmol.g⁻¹; P5: 0-0.02 μmol.g⁻¹). So the soils are predominantly oxic, favoring the formation of iron oxy-hydroxides over the pyritic material.

Keywords: Iron sequentially. Pyrite framboids. Oxic conditions.

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes estuarinos possuem forte influência diária dos processos hidrodinâmicos (LIMA *et al.*, 2014) que podem interferir nos processos geoquímicos de seus solos, e até diferenciar unidades fisiográficas, como por exemplo, os domínios de mangues e de *apicuns*.

Neste caso, os *apicuns* são formados conforme o aporte de água salina, proveniente principalmente pela maré de sizígia, originando solos hipersalinos (MARQUES, *et al.*, 2014a).

Além disso, a baixa precipitação pluviométrica, aliada à intensa evaporação, favorece a concentração de sais no solo de até cinco vezes a mais no *apicum* do que os valores esperados para a água do mar (RIDD; SAM, 1996; RIDD; STIEGLITZ, 2002), propiciando o desenvolvimento de vegetação herbácea halófitas ou a ausência de cobertura vegetal (RAVAI *et al.*, 2012). Esta dinâmica é observada principalmente em regiões submetidas a condições climáticas áridas ou semiáridas (MEIRELES *et al.*, 2007; LEBIGRE, 2007).

Normalmente em solos estuarinos, o excesso de água, promove o estabelecimento de condições redutoras devido ao constante aporte de água de origem continental, bem como proveniente do mar. Isto aliado à entrada de íons sulfato e de ferro confere um intenso processo de redução (PIRES; LACERDA, 2000). Originando como produto final a pirita (FeS_2) de natureza framboidal. (BREEMEN; BUURMAN, 2003), cuja gênese envolve atividades biológicas de bactérias sulfato redutoras (*Desulfobacterales*, *Desulfovibrionales* e *Desulfuromonales*; TREUDE *et al.*, 2014)

Assim, partindo da hipótese que os *apicuns* cearenses estão inseridos em ambiente costeiro dentro de um contexto semiárido, espera-se que a geoquímica do ferro corresponda às condições impostas pelas condições hídricas, com participação efetiva dos processos oxi-redutivos. Além disso, a posição do solo na paisagem também irá influenciar na dinâmica da água e conseqüentemente na pedogeoquímica no *apicum*. Para tanto, serão comparados valores obtidos na literatura com dados inéditos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

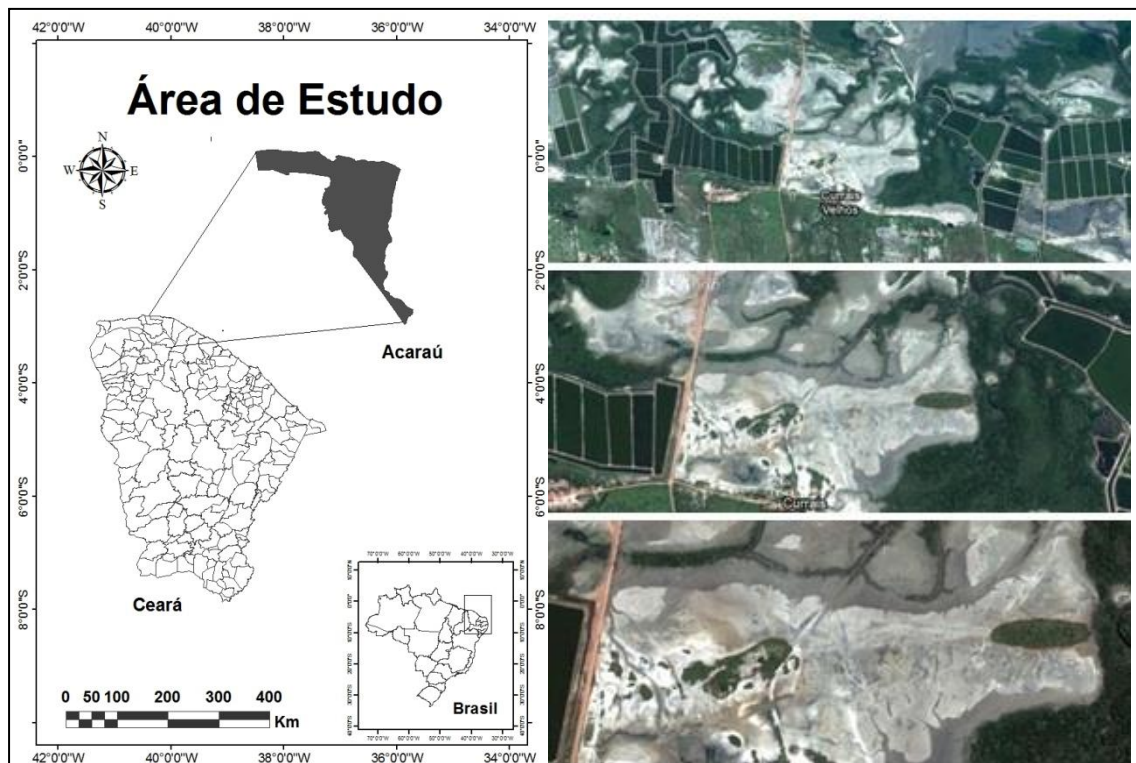
2.1 Caracterização da área de estudo

Foram selecionadas duas áreas de estudo no noroeste do Estado do Ceará, nos estuários do rio Acaraú (município de Acaraú) e do rio Aracatiaçu (município de Amontada). Ressalta-se que os dados obtidos para os solos do estuário do rio Acaraú foram retirados de Marques (2010) e Marques *et al.* (2014b).

i. Rio Acaraú

O estuário do rio Acaraú está inserido no município homônimo, cuja bacia de drenagem possui extensão que percorre áreas de domínios semiáridos e região litorânea (Figura 1; SUCUPIRA *et al.*, 2006), incluindo aproximadamente 25 municípios cearenses. Desta forma é considerada a segunda maior bacia de drenagem do Estado (ARAÚJO; FREIRE, 2007).

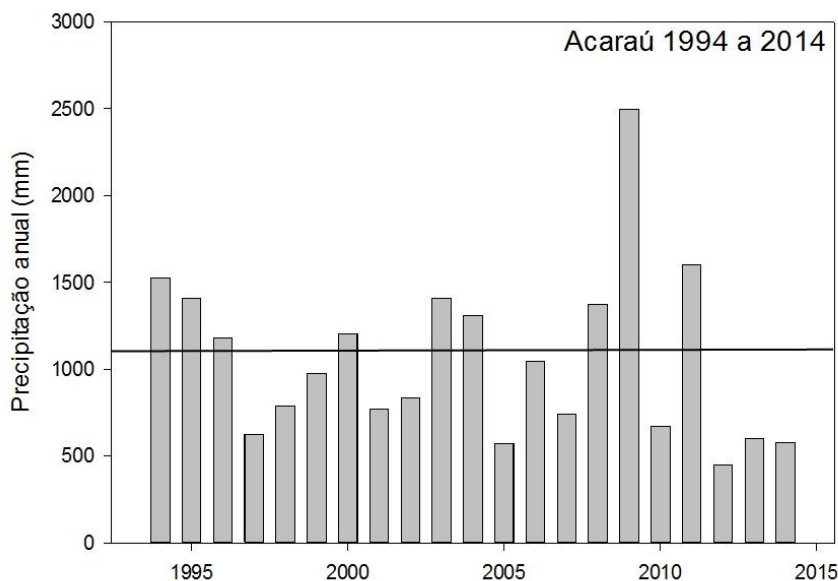
Figura 1 - Localização territorial de Acaraú e em destaque áreas de *apicum* situadas na Planície Fluviomarinha deste município.



Fonte: Autora (Shapes do IBGE e fotos do Google maps).

O clima da região é definido como clima Tropical Quente Semiárido, com chuvas de janeiro a abril (IPECE, 2011), com temperatura média máxima de 34°C e mínima média de 18°C. A pluviosidade média histórica do município de 1.054 mm (FUNCEME, 2015).

Figura 2 – Média histórica da precipitação pluvial do município de Acaraú nos anos de 1994 a 2014. A linha pontilhada demarca a média histórica de 1054 mm.



Fonte: Funceme (2015), adaptado pela autora.

A geologia da bacia do rio Acaraú é composta pelo embasamento cristalino e o predomínio são de granitos, gnaisses (paragnaisses e ortognaisses), xisto, filitos, anfibolitos e ardósias (MOTA; VALLADARES, 2011; DINIZ; MOREIRA; CORRADINI, 2008).

Enquanto no contexto local, o referido estuário é formado por sedimentos da Formação Barreiras, representados pela unidade dos Tabuleiros Costeiros (Figura 3), que por sua vez, contribuem para a dinâmica hídrica das planícies fluviais e fluviomarinha (ARAÚJO; FREIRE, 2007).

Figura 3 - Localização do *apicum* da área de estudo no estuário do rio Acaraú (CE). Em destaque o mangue (*mangrove*), *apicum* (*salt flat*) e Tabuleiro Costeiro (*Coastal Tableland*).

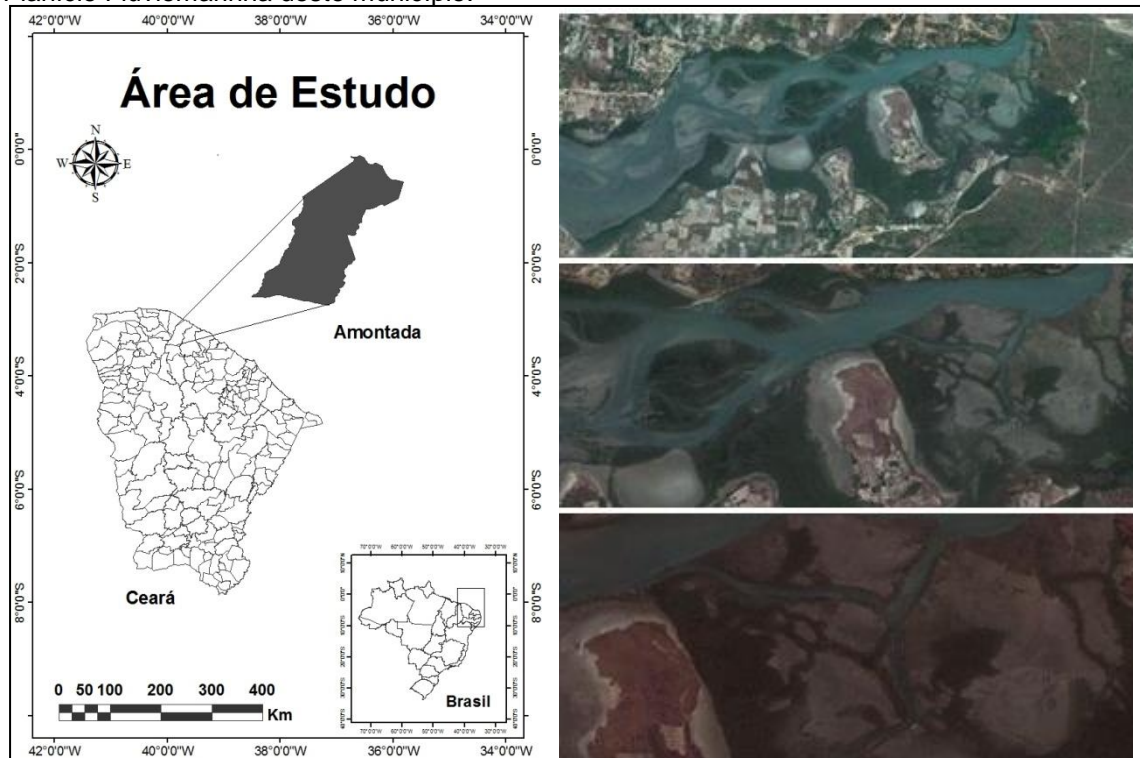


Fonte: Adaptado Marques *et al.* (2014b), adaptado pela autora.

ii. Rio Aracatiaçu

Amontada está situada na porção noroeste do estado do Ceará (Figura 4), compreende uma área de 1.179,59 km² e está inserida na região da bacia hidrográfica do Litoral e microbacia do rio Aracatiaçu (IPLANCE, 1997). A microbacia tem extensão de 3.055 Km² e também abrange os municípios de Miraíma e uma parte de Sobral, tendo sua nascente na Serra Verde (Irauçuba) e deságua no Oceano Atlântico, no município de Amontada (GONÇALVES; NOGUEIRA, 2007).

Figura 4 - Localização territorial de Amontada e em destaque áreas de *apicum* situadas na Planície Fluvio-marinha deste município.

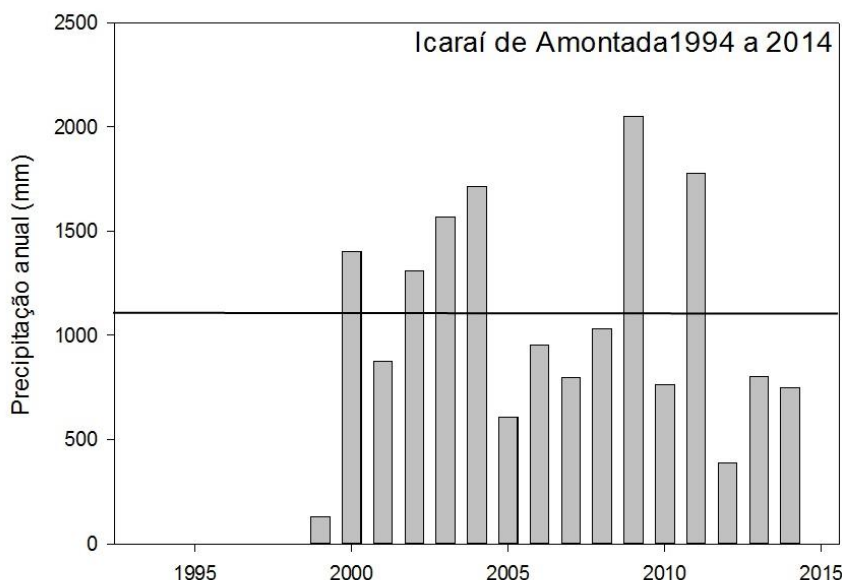


Fonte: Autora (Shapes do IBGE e fotos do Google maps).

O clima predominante de Amontada é Tropical Quente Semiárido Brando e Tropical Quente Semiárido, com período chuvoso de janeiro a abril, precipitação média anual de 828,5 mm e temperatura média entre 26°C a 28°C (IPECE, 2011).

A área de estudo, em Icarai de Amontada, possui precipitação média histórica anual entorno de 1057 mm (Figura 5; FUNCEME, 2015), enquanto no curso alto e médio os totais pluviométricos variam de 550 a 1000 mm anuais, respectivamente (IPECE, 2002).

Figura 5 – Média histórica da precipitação pluvial do distrito de Icarai de Amontada (Amontada-CE) nos anos de 1994 a 2014. A linha pontilhada demarca a média histórica de 1057 mm.



Fonte: Funceme (2015), adaptado pela autora. Os dados de 1994 a 1998 não foram disponibilizados pela Funceme.

A geologia de Amontada é composta por sedimentos arenosos marinhos (dunas e paleodunas; Figura 6) e fluviais inconsolidados e sedimentos detrítico conglomerático, arenosos a argilosos, ambos do período Terciário (Formação Barreiras) e Pré-Cambrianos (Depressão Sertaneja) compostos por gnaisse, migmatitos e granitoides (CAVALVANTE, 2003; MARINO; LEHUGEUR, 2007).

Já a litologia da microbacia do rio Aracatiaçu tem o predomínio do Embasamento Cristalino (Pré-Cambriano inferior e médio), agrupadas nas unidades estratigráficas do Complexo Ceará e Tamboril (Santa Quitéria), seguido por rochas sedimentares (GONÇALVES; NOGUEIRA, 2007).

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia do Aracatiaçu engloba porções da Depressão Sertaneja, Maciços Residuais Secos, Planície Fluvial, Tabuleiro Pré-Litorâneo e Planície Litorânea (GONÇALVES; NOGUEIRA, 2007).

Figura 6 - (A) Área de estudo no estuário do rio Aracatiaçu em Icaraí de Amontada (Amontada-CE) e (B) proximidades de campos de dunas.



Fonte: Autora.

2.2 Procedimentos: campo

Foram selecionados dois perfis de solo no estuário do rio Acaraú (dados obtidos de MARQUES *et al.*, 2014b; MARQUES, 2010) e três no estuário do rio Aracatiaçu, cujos dados são apresentados na Tabela 1, para o estudo comparativo das duas áreas estuarinas. Nestes locais o regime de maré se destaca por ser semi-diurno com amplitudes que variam entre 1,4 e 2,6 m para as marés de quadratura e sizígia, respectivamente (TANAKA; MAIA, 2006).

A coleta dos solos do *apicum* do rio Aracatiaçu foi realizada no período seco, com tubos de polycarbontato (50 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro) acoplados em um amostrador de aço inox. O armazenamento até o laboratório foi feita em caixa de isopor refrigerada para evitar a oxidação das amostras. Já para os demais parâmetros físicos e químicos, foram realizadas coletas em trincheiras (SANTOS *et al.*, 2013).

As medições do potencial hidrogeniônico (pH) e o potencial redox (Eh) das amostras de solo foram determinados *in situ*, com auxílio de aparelhos portáteis. Os valores de Eh foram corrigidos pela adição do potencial (+244 mV).

Após a coleta, as amostras segmentadas nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm.

Tabela 1 – Posição dos pontos de coleta de solo no estuário dos rios Acaraú e Aracatiáçu.

Perfil	Posição na paisagem	Coordenadas UTM	
Estuário do rio Acaraú*			
P1	Porção central do <i>apicum</i>	379762	9685099
P2	Porção localizada próximo ao manguezal	379882	9685129
Estuário do rio Aracatiáçu			
P3	Porção localizada próximo ao manguezal	564131	9576722
P4	Porção central do <i>apicum</i>	564171	9576468
P5	Porção localizada próximo ao Tabuleiro Costeiro	564131	9576722

*Dados de Marques (2010) referentes aos solos do estuário do rio Acaraú.

2.3 Procedimentos: analíticos

Em laboratório as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas e submetidas ao pré-tratamento de eliminação do excesso de sais solúveis com álcool etílico 60% (v/v) (BOWER *et al.*, 1952; SUMNER; MILLER, 1996) até a ausência de cloretos. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta após a eliminação da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (GEE; BAUDER, 1986), com dispersão química utilizando hexametáfosfato de sódio (NaPO₃)₆ 0,015 mol L⁻¹ e agitação mecânica horizontal.

A salinidade foi expressa pelos valores obtidos na condutividade elétrica (CE), que por sua vez foi feita a partir da pasta de solo saturada com água destilada (RHOADES, 1996) e leitura em medidor de condutividade. O carbonato de cálcio equivalente foi obtido pelo método da AOAC (AOAC, 1970) e Metson (1956).

Para a extração seqüencial de Fe foi utilizada a combinação dos métodos propostos por Tessier *et al.* (1979), Huerta-Díaz e Morse (1990) e Forte *et al.* (1993).

O fracionamento ocorreu da seguinte forma: F1 (Fe- trocável e solúvel), extração com solução cloreto de magnésio (MgCl₂ 1M); F2 (Fe- associado à fração carbonatos), utilização de acetato de sódio (CH₃COONa 1M); F3 (Fe- associado à

ferrihidrita), solução extratora de hidroxilamina ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 0,04M) + ácido acético (CH_3COOH 25% v/v); F4 (Fe associado à lepidocrocita), utilização de solução extratora ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 0,04M) + ácido acético (CH_3COOH 25% v/v); F5 (Fe- associado a oxihidróxidos de Fe cristalinos), com de solução de citrato de sódio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 0,25M), bicarbonato de sódio (Na_2CO_3 0,11 M) e ditionito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ PA); F6 (Fe- associado à pirita), uso de ácido fluorídrico (HF 10M), ácido bórico (H_3BO_3 PA), ácido sulfúrico (H_2SO_4 PA) e ácido nítrico (HNO_3 PA).

O Ferro reativo foi determinado pelo somatório das frações F1 a F5 (OTERO *et al.*, 2009) e o grau de piritização (DOP) foi calculado de acordo com e do DOP (Equação 1) do ferro, no qual determina a quantidade de Fe reativo (%) incorporado à fração pirítica (BERNER, 1970).

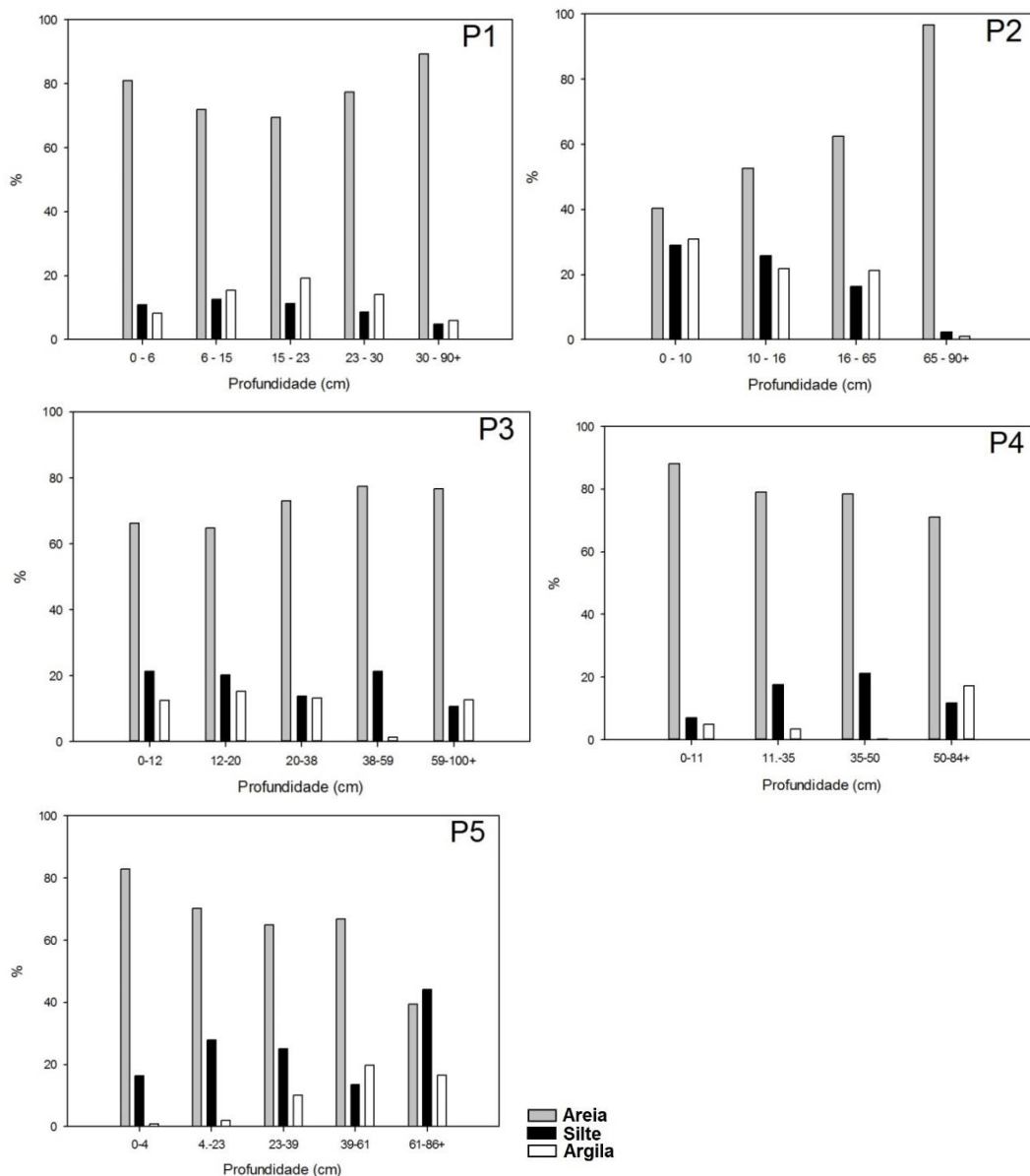
$$DOP (\%) = \left(\frac{Fe\text{-pirítico}}{Fe\text{-reativo} + Fe\text{-pirítico}} \right) \times 100 \quad (1)$$

As fotomicrografias das piritas foram obtidas a partir do solo *in natura*, cuja separação destes minerais foi realizada com bromofórmio (CHBr_3 , densidade de $2,89 \text{ g mL}^{-1}$). Posteriormente as piritas foram colocadas em suporte de alumínio para a observação por microscopia eletrônica de varredura. Análise elementar (EDS, espectrometria de energia dispersiva de raio-X) foi realizada com o aparelho de modelo MEV EVO LS 15 BV da marca ZEISS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois estuários apresentaram grandes quantidades de areia (P1, P3 e P5 > 65%; P2 > 40% e P4 > 70%, Figura 7), permitindo maior drenagem e maior difusão de O_2 .

Figura 7 -: Granulometria dos solos dos estuários do rio Acaraú* (P1, P2) e Aracatiçu (P3, P4, P5).



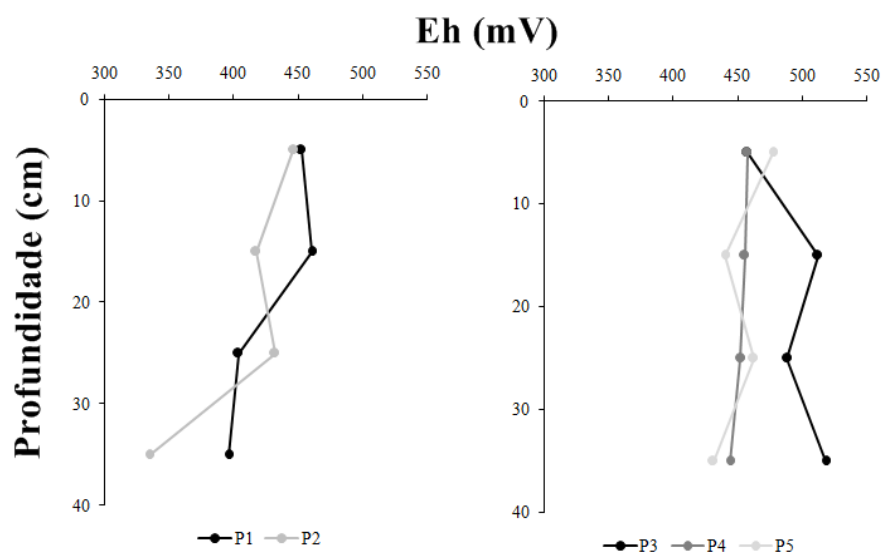
Fonte: Autora.

*Dados de Marques (2014b; 2010) referentes aos solos do estuário do rio Acaraú.

Assim, os solos do presente estudo mostraram-se óxicos (Figura 8) em ambos perfis, mas com uma discreta diminuição de Eh (P1: +450 → +390 mV; P2:

+440→+330 mV; P4: +460→ +440 mV; P5: +480→+431mV) ao longo de todo perfil. A exceção foi o perfil P3 (Aracatiaçu; +460→+520 mV) cujos valores são crescentes, devido a sua posição no relevo da planície fluviomarinha, próximo ao manguezal. Neste caso, em P3 a água do lençol freático é constantemente renovada pela maré e, com isso, favorece a renovação dos gases dissolvidos na água.

Figura 8 - Valores de Eh (mV) dos solos de *apicum* dos estuários dos rios Acaraú* (P1, P2) e Aracatiaçu (P3, P4,P5).



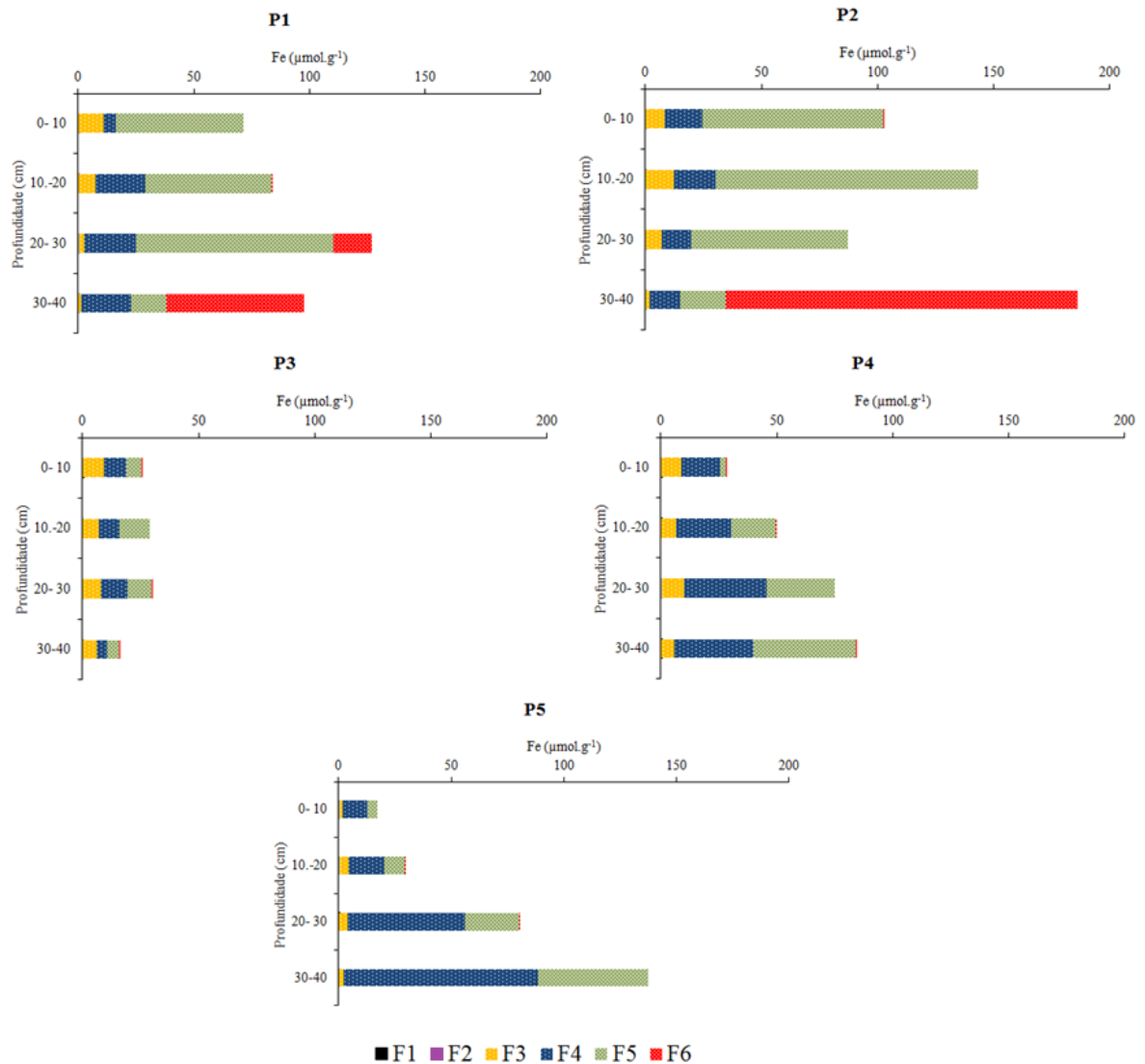
Fonte: Autora.

*Dados de Marques (2014b; 2010) referentes aos solos do estuário do rio Acaraú.

Além disso, a maré de sizígia, que atinge os *apicuns*, são responsáveis pela adição de oxigênios nos solos desta região estuarina, uma vez este tipo de maré pode conter teores próximos a $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de oxigênio dissolvido (LIMA *et al.*, 2014).

Diante disso, o ferro trocável e solúvel, cujos teores são baixos ($<0,3 \text{ } \mu\text{mol.g}^{-1}$; Figura 9), passa a precipitar na forma de oxi-hidróxido (F3→F5; figura 9) devido às condições aeróbicas do solo. De fato, os resultados evidenciam que as formas de Fe dominantes nos solos dos dois estuários corresponderam à fração associada aos oxi-hidróxidos de Fe cristalinos (F5 – goethita; Figuras 9). Evidenciando a forte tendência de que o *apicum* é um ambiente com predomínio de condições óxicas (Figura 8).

Figura 9 - : Extração de ferro dos solos dos estuários dos rios Acaraú* (P1, P2) e Aracatiaçu (P3, P4, P5).



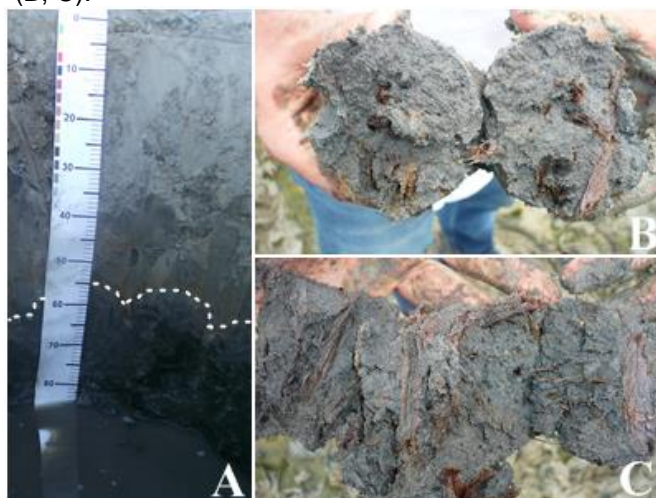
Fonte: Autora.

*Dados de Marques (2014b; 2010) referentes aos solos do estuário do rio Acaraú.

Analisando o comportamento dos teores de ferro em profundidade, verificou-se que os valores de F5 decrescem (P1: $54 \rightarrow 15 \mu\text{mol.g}^{-1}$; P2: $78 \rightarrow 20 \mu\text{mol.g}^{-1}$; P3: $13 \rightarrow 5 \mu\text{mol.g}^{-1}$, por exemplo), dando lugar ao ferro pirítico em subsuperfície. Ressalta-se que os teores de ferro pirítico no estuário do rio Aracatiaçu foram baixos, mas detectável (P3: $0 - 0,31 \mu\text{mol.g}^{-1}$; P4: $0 - 0,76 \mu\text{mol.g}^{-1}$; P5: $0 - 0,02 \mu\text{mol.g}^{-1}$), quando comparados à outra área de estudo.

Desta forma, a extração da fração F6 (Figura 9) possui maior teor na última profundidade. Possivelmente isso se deve à influência dos vestígios do antigo manguezal, principalmente em P2 e P3 (Figura 10), que em condições pretéritas possuíam condições favoráveis à formação do material sulfídrico.

Figura 10 – Vestígios de mangue em domínios de *apicum* nos estuários dos rios Aracatiaçu (A) e Acaraú* (B, C).



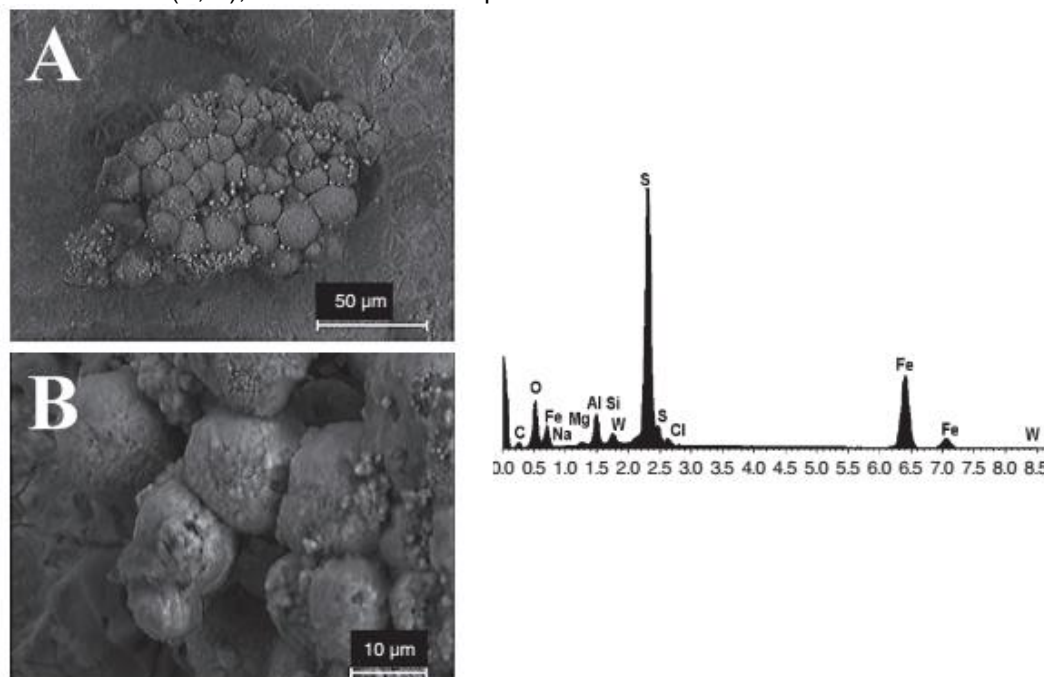
Fonte: Autora.

*Dados de Marques (B- 2014b; C- 2010) referentes aos solos do estuário do rio Acaraú.

Realmente, os teores de C orgânico em P2 (2,6%) e P3 (7,8%), em subsuperfície, condizem com situação de solo enterrado, pois normalmente os elevados valores de material orgânico acontecem em superfície. No caso destes dois perfis, os teores de C orgânico na porção superficial do solo foram baixos (P1<0,6%; P2< 0,8%; P3< 0,5%; P4< 0,6%; P5<0,4%; Tabela 2), devido à baixa taxa de colonização da vegetação em áreas de *apicum*.

Além disso, a presença de piratas de morfologia framboidal (Figura 11), corrobora a hipótese de solo enterrado de mangue. Neste caso, em condições atuais, os solos de *apicum* não apresentam constantes condições anóxicas e elevados teores de material orgânico para a gênese deste mineral.

Figura 11 – Fotomicroscopia de piritas localizadas em subsuperfície do solo do estuário do rio Acaraú (A, B); EDS mostrando os picos intensos de ferro e enxofre.



Fonte: Marques *et al.* (2014b).

A permanência das piritas deve-se ao revestimento de oxi-hidróxidos de ferro sobre a superfície do framboide (Figura 11B; MARQUES *et al.*, 2014b), promovido pelas condições oxidantes (Figura 8). Assim, afirma-se que as piritas encontradas em sub superfície são herdadas do antigo manguezal.

No perfil P4, no estuário do rio Aracatiaçu, o maior valor de Fe-pirítico ($0,76 \mu\text{mol.g}^{-1}$) foi verificado em superfície, indicando que houve atividade recente da fauna que ao confeccionar suas tocas, expõem massa de solo que antes estava em subsuperfície. Neste caso, assim como ocorre nos solos de apicum de Acaraú (Figura 11), infere-se que em P4, existe a formação de filmes de óxidos de ferro depositados sobre a pirita evitando a sua oxidação.

Esta mesma característica de piritas em superfície também foi relatada em solos de manguezais, mas em decorrência da associação de fungos, algas, bactérias, diatomáceas e cianobactérias que formam um biofilme capaz de converter íons da solução em minerais (CUADRADO; PERILLO; VITALE, 2013; PIRES; LACERDA, 2008).

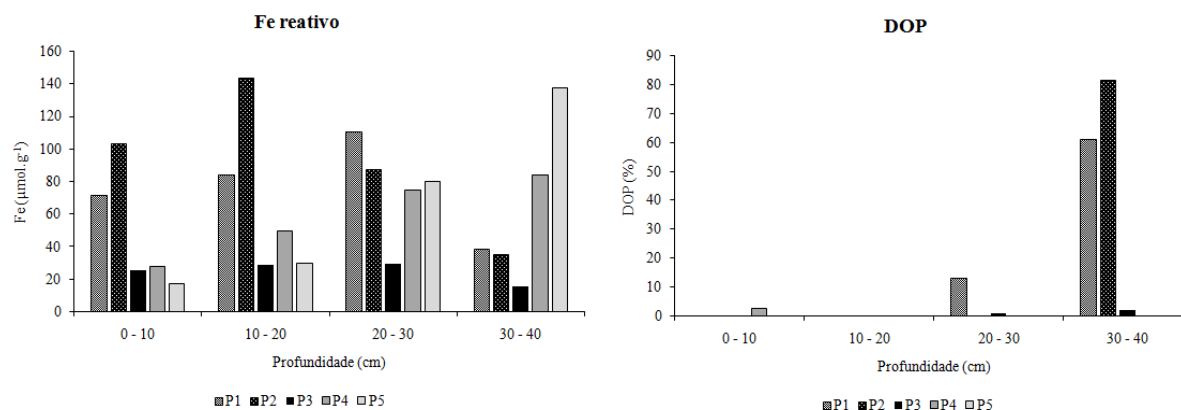
Tabela 2 - Caracterização de parâmetros químicos de solos dos dois estuários estudados

Horizonte	Prof. (cm)	CE dS.m ⁻¹	CaCO ₃ g.kg ⁻¹	C.O. %
P1 – Acaraú*				
Cgnk1	0 – 6	42,784	51,00	0,60
2Cgnk2	6 – 15	31,673	54,00	0,40
3Cgn3	15 – 23	30,861	47,00	0,40
4Cgn4	23 – 30	28,917	37,00	0,20
5Cgn5	30 – 90+	25,821	24,50	0,40
P2 – Acaraú*				
Cgnk1	0 – 10	31,408	107,00	0,80
2Cgn2	10 – 16	32,245	48,00	1,30
3Cgn3	16 – 65	44,003	45,50	2,60
4Cgn4	65 – 90+	32,918	22,00	1,00
P3 – Aracatiaçu				
Ck1	0-4	16,99	78,00	0,45
Cgk2	4-23	18,67	62,50	0,39
Cgkn3	23-39	19,90	53,25	0,47
Cg4	39-61	18,67	44,50	0,67
Cgk5	61-86	29,50	63,50	7,82
P4 – Aracatiaçu				
C1	0-11	21,13	38,25	0,61
Cgk2	11-35	16,91	58,00	0,47
Cg3	35-50	17,08	47,50	0,34
Cg4	50-84	17,61	41,75	0,39
P5 – Aracatiaçu				
C1	0-12	18,14	43,25	0,39
C2	12-20	11,27	40,00	0,41
Cg3	20-38	9,51	37,00	0,39
Cgn4	38-59	10,92	45,50	0,38
Cgk5	59-100	12,33	69,75	0,74

*Dados de Marques (2010) referentes aos solos do estuário do rio Acaraú.

O elevado grau de piritização do ferro (DOP; Figura 12), principalmente em P2 (DOP>80%), suporta também a ideia de que o solo em subsuperfície (30-40cm) era antigo domínio de manguezal. Já em P3, estuário do rio Aracatiaçu, o solo por estar em estado extremamente óxico (Eh> +450 mV; Figura 8), desfavorece a permanência da piritita herdada.

Figura 12 -: Extração de ferro, ferro reativo e DOP no período úmido dos solos dos estuários dos rios Acaraú* e Aracatiaçu.



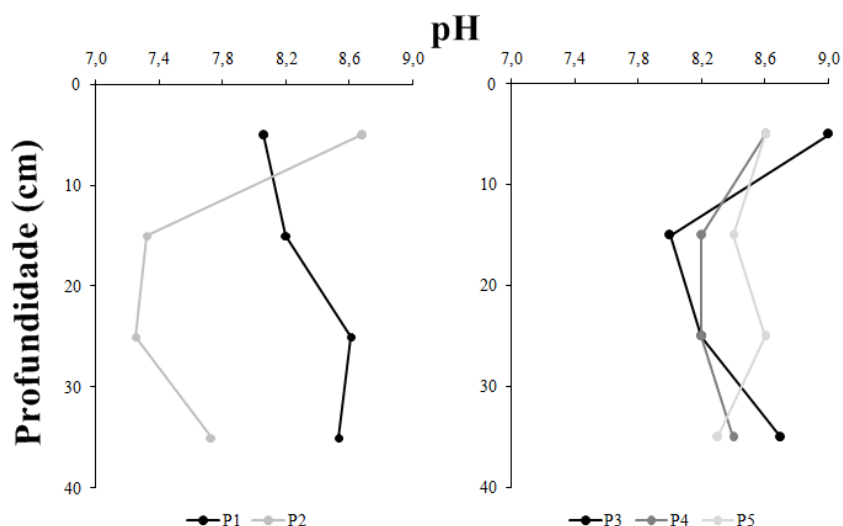
Fonte: Autora. *Refere-se aos dados de Marques (2010).

Reflexo disso, são os menores valores de pH (7,3 e 7,7; Figura 13) em P2, indicando que há oxidação do material sulfídrico, gerando acidez. Os demais solos, possuem valores de pH mais elevados ($> 7,8$; Figura 13), principalmente em superfície. Isto é reflexo dos altos conteúdos de bases e carbonato de cálcio (P1: 24-54 g.kg^{-1} ; P2: 22-107 g.kg^{-1} ; P3: 44-78 g.kg^{-1} ; P4: 28-58 g.kg^{-1} ; P5: 37-50 g.kg^{-1} ; Tabela 2), bem como decorrente da elevada taxa de evapotranspiração, que promovem a precipitação de evaporitos na superfície do solo.

O discreto aumento do pH em subsuperfície (Figura 13), indica a participação da cunha salina proveniente das águas subterrâneas que são ricas em sais. Os dados de CE confirmam esta hipótese (P1: 25-43 dS.m^{-1} ; P2: 31-44 dS.m^{-1} ; P3: 44-78 dS.m^{-1} ; P4: 38-58 dS.m^{-1} ; P5: 37-70 dS.m^{-1}).

Quanto ao estuário do rio Aracatiaçu, nos dias próximos à coleta houve uma intensa precipitação pluvial (323 mm, FUNCEME, 2013), que promoveu maior diluição dos sais e, com isso, houve a diminuição dos valores de CE, indicando o efeito da sazonalidade sobre a precipitação dos sais.

Figura 13 - Valores de pH nos solos de *apicum* dos estuários dos rios Acaraú* (P1, P2) e .Aracatiaçu (P3,P4,P5)



Fonte: Autora.

*Dados de Marques (2014b; 2010) referentes aos solos do estuário do rio Acaraú.

Em relação ao conteúdo de ferro reativo ($>20 \mu\text{mol.g}^{-1}$; Figura 10), bem como de aporte de sulfato pela água do mar (CROWE *et al.*, 2014), não favorece a redução. Isto porque, as bactérias envolvidas (*Desulfobacterales*, *Desulfovibrionales* e *Desulfuromonales*; TREUDE *et al.*, 2014) necessitam de mais duas condições para

desenvolver suas atividades, que por sua vez, são raras em todos os solos estudados: anaerobiose e material orgânico.

Ressalta-se ainda que, ao comparar os solos estudados, o estuário do rio Aracatiaçu possui menores teores de ferro reativo disponível, mesmo possuindo grande quantidade de minerais primários (por exemplo, biotita; *vide* capítulo 3). Os mesmos ainda estão presentes na fração areia e não se encontram em estado avançado de intemperização. No entanto, a longo prazo, espera-se um aumento significativo da disponibilidade de ferro.

4 CONCLUSÃO

Conforme os dados apresentados, nos *apicuns* ocorrem importantes processos que envolvem a cinética do ferro. Assim os solos estudados são essencialmente arenosos, refletindo em maior difusão do oxigênio. Desta forma, são predominantemente óxicos, favorecendo a precipitação de oxi-hidróxidos de ferro, evidenciando que o *apicum* é um ambiente propício à síntese destes minerais.

Além disso, há diferenciação nos teores de ferro entre os dois estuários. Neste caso, a intemperização dos minerais primários e a posição do solo na paisagem regem a dinâmica de disponibilidade de ferro reativo disponível para os solos do *apicum*. Isto, aliado às condições óxicas e às baixas quantidades de material orgânico, desfavorece a formação de pirita. Assim, é evidente que o *apicum* possui sua gênese correlacionada com os domínios de mangues, devendo ser considerado, diante das leis, integrante do ecossistema manguezal.

REFERÊNCIAS

- AOAC. **Official methods of the Association of Agricultural Chemists**. 11 ed. (Association of Official Agricultural Chemists: Washington, DC). 1970.
- ARAÚJO, M. V.; FREIRE, G. S. S. Utilização de SIG nos estudos ambientais do estuário do Rio Acaraú – Ceará. **Geonomos**, v. 15, n. 02, p. 09-19, 2007.
- BERNER, R.A. Sedimentary pyrite formation. **Am. J. Sci.** 268p., p. 1–23. 1970.
- BOWER, C.A., REITEMEIER, R.F., FIREMA, N. M. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. **Soil Science**, n.73, p. 251–262. 1952 doi:10.1097/00010694-195204000-00001.
- BREEMEN, V. N., BUURMAN, P. **Soil Formation**. 2 ed., Dordrecht, Kluwer, 2003, 419 p.
- CAVALCANTE, J. C. **Mapa Geológico do Estado do Ceará. (1:500.000)**. Ministério de Minas e Energia, CPRM – Fortaleza/CE. 2003
- CUADRADO, D.G.; PERILLO, G.M.E.; VITALE, A.J. Modern microbial mats in siliciclastic tidal flats: Evolution, structure and the role of hydrodynamics. **Marine Geology**. p. 367–380. 2014.
- CROWE, S.A.; PARIS, G.; KATSEV, S. JONES, C.; KIM, S.T.; ZERKLE, A.L.; NOMOSATRYO, S.; FOWLE, D.A.; ADKINS, J.F.; SESSIONS, A.L.; FARQUHAR, J.; CANFIELD, D.E. Sulfate was a trace constituent of Archean seawater. **Science**. v. 346, n. 6210. p. 735-739. 2014. Doi: 10.1126/Science.128966.
- DINIZ, S. F.; MOREIRA, C. A.; CORRADINI, F. A. Susceptibilidade erosiva do baixo curso do rio Acaraú-CE. UNESP, **Geociências**, v. 27, n. 3, p. 355-367. São Paulo, 2008.
- FORTIN, D.; LEPPARD, G.G.; TESSIER, A. Characteristic of lacustrine diagenetic iron oxyhydroxides. **Geoch. et Cosmochimica Acta**, v. 57, p. 4391- 4404, 1993.
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário das chuvas no Estado do Ceará**. 2015. Disponível em:<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario?data=hoje>
Acessado em 15 abr. 2015.
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2013. **Gráfico de chuvas**. Disponível em:
<http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/grafico-de-chuvas-dos-postos-pluviometricos>. Acesso em: 27. dez. 2013.
- GEE, G.W., BAUDER, J.W. Particle-size analysis. **In: Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods**. 2nd edn. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: Madison, WI, USA. p. 383–411. 1986.

GONÇALVES, F. C. A.; NOGUEIRA, J. F. Elaboração do mapa de predisposição à erosão na microbacia do rio Aracatiaçu (CE) utilizando técnicas de geoprocessamento. **Rev. da Casa da Geog. de Sobral**, Sobral, v. 8/9, n. 1, p. 81-93, 2007.

HUERTA-DÍAZ, M.A.; MORSE, J.W. A quantitative method for determination of trace metals in anoxic marine sediments. **Geoch. et Cosmochimica Acta**, London, v. 29, p. 119 - 144, 1990.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal** - Acaraú. 2011. p. 18. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/perfil-basico-municipal-2011. Acesso em: 06.set.2012.

IPECE. **Mapas das regiões hidrográficas do Ceará**. 2002. Escala 1:100.000.

IPLANCE. Instituto de Planejamento do Ceará. **Atlas do Ceará**. p. 64, 1997.

LEBIGRE, J. M. **Les marais à mangrove et lês tannes**. 2007. Disponível em: < http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/geographie/d/les-marais-a-mangrove-et-les-tannes_683/c3/221/p5/ >. Acesso em: 29 dezembro. 2014.

LIMA, W.M.; ALVES, M.A.M.S.; SANTOS, M.L.S.; RIBEIRO, A.M.; SANTOS, E.T.; NUNES, D.M. Influência do Ciclo de Maré na Variação dos Parâmetros FísicoQuímicos no Estuário do Rio Curuçá, Nordeste Paraense. **Bol. Téc. Cient. Cepnor**. v. 14, n. 1, p: 09 - 15, 2014

MARINO, M. T. R. D.; LEHUGEUR, L. G. O. Zoneamento Geoambiental do Município de Amontada Costa Oeste do Estado do Ceará. **Rev. de Geo.**, v. 20, n. 1, p. 39 – 55, 2007.

MARQUES ALBUQUERQUE, A.G.B; FERREIRA, T.O.; CABRAL, R.L.; NÓBREGA, G.N.; ROMERO, R.E.; MEIRELES, A.J.A.; OTERO, X.L. Hypersaline tidal flats (*Apicum* ecosystems): The weak link in the tropical wetlands chain. **Environmental Reviews**, 2014a. Doi: 10.1139/er-2013-0026

MARQUES, A.G.B.; FERREIRA, T.O.; NÓBREGA, G.N.; ROMERO, R.E. ; SOUZA JUNIOR, V.S.; MEIRELES, A.J.A.; OTERO, X.L. Soil genesis on hyper Saline tidal flats (*apicum* ecosystem) in a tropical semiarid estuary (Ceará, Brazil). **Soil Research**, 2014b. <http://dx.doi.org/10.1071/SR13179>

MARQUES, A.G. **Caracterização e Gênese de Solos de Mangue, Apicum e Tabuleiro da Região Costeira de Acaraú-CE**. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará. 2010, p. 123.

MEIRELES, A. J. DE A.; CASSOLA, R. S.; TUPINAMBÁ, S. V.; QUEIROZ, L. S. Impactos ambientais decorrentes das atividades da carcinicultura ao longo do litoral cearense, Nordeste do Brasil. **Mercator- Rev. de Geog. da UFC**, v. 6, n. 12, 2007.

METSON, A.J. **'Methods of chemical analysis for soil survey samples.** (New Zealand Soil Bureau: Wellington, New Zealand). 1956.

MOTA, L.H.S.O.; VALLADARES, G.S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Rev. Ciênc. Agron.**[online]. v.42, n.1, p. 39-50. 2011. ISSN 1806-6690.

OTERO, X. L.; FERREIRA, T.O.; HUERTA-DÍAZ, M. A.; PARTITI, C. S. M.; SOUZA J. R. V.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F. Geochemistry of iron and manganese in soils and sediments of a mangrove system, Island of Pai Matos (Cananéia — SP, Brazil). **Geod.** v.148, p. 318 – 335. 2009.

PIRES, L.C.; LACERDA, L.D. Piritas framboidais associadas ao biofilme em sedimentos de manguezal de Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ. **Geochimica Brasiliensis**, 22(3) 201-212, 2008.

ROVAI, A. S. ; MENGHINI, R. P. ; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. ; CINTRON, G. ; COELHO-JR, C. . Protecting Brazil's Coastal Wetlands. **Science Magazine** (Paris), v. 335, p. 1571-1572, 2012.

RIDD, P.V.; STIEGLITZ, T. Dry Season Salinity Changes in Arid Estuaries Fringed by Mangroves and Saltflats. **Est., Coastal and Shelf Science**, n. 54, p. 1039 – 1049, 2002. Disponível em: < <http://www.idealibrary.com>>. doi:10.1006/ecss.2001.0876

RIDD, P.V.; SAM, R. Profiling groundwater salt concentrations in mangrove swamps and tropical salt flats. **Est. C. and Shelf Sc.**, 43: p. 627 – 635, 1996. Doi: 10.1006/ecss.1996.0092

RHOADES, J.D. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: **Methods of soil analysis: Chemical methods. Part 3'**. (Ed. DL Sparks). **Soil Science Society of America**: Madison, WI, USA. 1996

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.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 6ª ed. Campinas, 2013, 100p.

SUCUPIRA, P. A. P.; PINHEIRO, L. DE S.; ROSA, M. S. Caracterização morfométrica do médio e baixo curso do rio Acaraú- Ceará-Brasil. **Anais... VI Simpósio Nacional de geomorfologia / Regional conference on geomorphology.** Goiânia – GO. 2006.

SUMNER M.E., MILLER W.P. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In 'Methods of soil analysis, Part 3'. (Chemical methods. **Soil Science Society of America**: Madison, WI, USA). 1996.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.;BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **An. Chem.**, v. 51, p. 844-855, 1979.

TREUDE, T.; KRAUSE, S.; MALTBY, J.; DALE, A.W.; COFFIN, R.; HAMDAN, L.J. Sulfate reduction and methane oxidation activity below the sulfate-methane transition zone in Alaskan Beaufort Sea continental margin sediments: Implications for deep sulfur cycling. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. 144. p. 217–237. 2014.