

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE MANGUEZAIS SOB CONDIÇÕES DE VARIAÇÃO SAZONAL

Attributes chemical manguezais soil with variations on seasonal conditions

RESUMO

Nesta pesquisa foram estudadas variações dos atributos químicos do solo, teor de nutrientes e suas relações de dependência com as precipitações em manguezal amazônico no período chuvoso e menos chuvoso. Os sítios experimentais foram estabelecidos como área 1 e 2. Os teores de Na e K foram variáveis que mais representaram período de estiagem. Na Área 1, correlacionada com maiores concentrações de nutrientes neste período, atingiram média 520,23 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ e 163,48 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, respectivamente. Na estação chuvosa, essas concentrações foram menores com média 11,27 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ de Na e 4,07 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ de K provavelmente pela diluição desses nutrientes pelas águas da precipitação pluviométrica durante o período chuvoso. Houve alta variação de Na e K, durante estiagem, concentração de nutrientes foram maiores, principalmente no manguezal de intermaré, e na época chuvosa, a diluição provocada pela água das chuvas, assim como a lixiviação dos nutrientes do solo provocou uma redução significativa nos teores desses nutrientes.

Palavras-chave: Precipitação, nutrientes, ecossistema, floresta de manguezal.

ABSTRACT

In this research we studied changes in soil chemical properties, the nutrient content and their dependency relationships with the rainfall in the Amazon mangrove in the rainy and dry season of 2011 and 2012. The levels of Na and K are variables that represent more droughts. Area 1, correlated with higher concentrations of nutrients in this period, reaching average 520,23 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ and 163,48 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, respectively. In the rainy season, these concentrations were lower with average 11,27 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ Na and 4,07 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ K probably due to the dilution of these nutrients by the waters of rainfall during the rainy season. There was great variation of Na and K, during the dry season, the concentration of nutrients was higher, especially in mangrove intertidal, and in the rainy season, the dilution caused by rain, as well as leaching of soil nutrients caused a reduction significant in the levels of these nutrients.

Keywords: Precipitation, nutrients, ecosystem, mangrove forest.

Marina Lopes de Souza

Universidade Federal do Pará – Belém
– PA. Departamento de Geociências.

E-mail: marina.lopes@hotmail.com

Maria Aurora da Mota

Universidade Federal do Pará – Belém
– PA. Departamento de Geociências.

E-mail: aurora@ufpa.br

Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo

Museu Paraense Emílio Goeldi –
Belém – PA. Coordenação de Ciências
da Terra e Ecologia.

E-mail: ruivo@museu-goeldi.br

Rosecélia Moreira Castro

Museu Paraense Emílio Goeldi –
Belém – PA. Coordenação de Ciências
da Terra e Ecologia.

E-mail: rmsilva@museu-goeldi.br

José Francisco Berredo

Museu Paraense Emílio Goeldi –
Belém – PA. Coordenação de Ciências
da Terra e Ecologia.

E-mail: berredo@museu-goeldi.br

Paulo Jorge Oliveira de Souza

Universidade Federal Rural da
Amazônia – Belém – PA. Instituto de
Ciências Agrárias/ICA.

E-mail: paulo.jorge@ufra.edu.br

Adriano Marlison Leão de Souza

Universidade Federal Rural da
Amazônia – Belém – PA. Instituto de
Ciências Agrárias/ICA.

E-mail: adriano.souza@ufra.edu.br

INTRODUÇÃO

Os manguezais são sistemas abertos, no que se refere ao fluxo de matéria e energia, recebendo um grande aporte de água doce, sedimentos e nutrientes do ambiente terrestre e exportando água e matéria orgânica para o mar, águas estuarinas e ambientes costeiros adjacentes (LEMOS, 2011). Frequentemente, as florestas de mangue exportam carbono e nutrientes sob a forma de serapilheira e carbono orgânico particulado para a zona costeira, sendo a precipitação um fator importante que influencia na exportação de carbono através da serapilheira. Por sua vez, esta exportação é maior em regiões de baixa precipitação anual e temperaturas médias anuais elevadas do que em locais com elevada precipitação e baixas temperaturas. Entretanto, algumas vezes esses materiais são exportados e outras vezes importados de ecossistemas adjacentes (ADAME et. al, 2011).

As condições climáticas (pluviosidade, temperatura, ventos e outras) e morfológicas em manguezais justificam progressivo e contínuo desenvolvimento dos sedimentos e solos desse ecossistema e suas diferenciações, que por sua vez, estão relacionadas ao regime hídrico, composição da água superficial e periodicidade de inundação. Portanto, as transformações e interações que ocorrem nesse ecossistema, físicas (perda de água, aeração, oxidação, estruturação), químicas (perda da salinidade, dessaturação, lixiviação) e geoquímicas, são processos que acontecem simultaneamente (TURENNE, 1997).

Pesquisas realizadas na costa nordeste do estado do Pará sugerem que as modificações ocorridas nos sedimentos/solos e águas intersticiais, como a oxidação total ou parcial da superfície dos sedimentos, modificações na mineralogia e nas características químicas e físico-químicas das águas intersticiais, são resultado da curta, porém marcante sazonalidade da região, da distribuição anual das chuvas, da evapotranspiração, do regime de marés e das características morfológicas e sedimentológicas dos manguezais (BERRÊDO et. al, 2008).

As constantes inundações nos manguezais, em função da ação das marés, criam condições favoráveis ao

processo de decomposição anaeróbia dos altos conteúdos de matéria orgânica presentes nos solos e sedimentos. Essas inundações também provocam alterações físico-químicas nos solos de manguezais, causando a diminuição do potencial redox, a elevação dos valores de pH, mudanças drásticas no equilíbrio de minerais e na dinâmica de elementos como o ferro e o enxofre (PONNAMPERUMA, 1972).

O substrato do manguezal é rico em material orgânico semi decomposto incompletamente e constituído de matéria orgânica morta de origem animal e vegetal. Este material é decomposto por bactérias anaeróbias, resultando na produção de ácido sulfídrico responsável pelo odor característico de manguezais lodosos (SANT'ANNA, et. al, 1981).

A evolução de manguezais está vinculada aos fluxos de matéria e energia, associados aos processos hidrodinâmicos proporcionados pelas variações das marés, estabelecendo trocas por meio da interação e interdependência entre os componentes do manguezal e ecossistemas próximos ou adjacentes, como o apicum. Este ambiente é encontrado próximo a manguezais, em locais de topografia mais elevada, nas regiões intertropicais, com presença de solos com alta salinidade ou acidez (HADLICH, 2010). Entretanto, nem sempre apresentam salinidade elevada ou solos muito ácidos, devido às características próprias de cada ambiente.

Os apicuns ocorrem em locais onde a maré atinge com uma frequência bem menor (marés de sizígia) ou onde há pouca influência de água doce vinda de rios e/ou chuvas, contribuindo para a hipersalinidade do solo, uma vez que longos períodos de exposição ao processo de evaporação concentram os sais em superfície, impossibilitando o desenvolvimento da vegetação de mangue (LEMOS, 2011).

Diante das diversas interações que se estabelecem em manguezal e entre esse ecossistema e outros adjacentes, este estudo pretende analisar os atributos químicos do solo sob condições de variação sazonal, verificando as diferenças no teor de nutrientes do solo entre os manguezais estudados, na região do Salgado, nordeste paraense.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrições do sítio experimental

Este estudo foi conduzido no município de Salinópolis, na zona costeira do nordeste do Estado do Pará. O sítio experimental do projeto Mudanças Climáticas está localizado na Ilha de Itarana (0°39'23.76" S e 47°14'35.58" W), e em São João de Pirabas, na comunidade Caranã, (0°41'9.60" S e 47°15'59.82" W) a sudoeste da Ilha de Itarana. Os dois sítios experimentais escolhidos para este estudo também representam, em pequena escala, estas variações de unidades paisagísticas.

Sítio experimental da Ilha de Itarana

A Ilha de Itarana está a leste da península de Cuiarana e a sudeste da península de Salinópolis, entre as baías de Inajá (a leste) e Arapepó (a oeste), se interligando através do Furo Grande. É um ambiente costeiro sob forte influência do regime de marés, intercalado por canais de maré, furos e córregos, com presença de manguezais com relativo grau de preservação.

A ilha (parte central: 0°39'11" S e 47°13'32" W) abrange uma área com cerca de 91km² e faz parte do município de São João de Pirabas e está separada de Cuiarana por um sistema de grandes canais estuarinos, sendo o maior deles, o Furo Grande. A área experimental é um segmento da Ilha de Itarana, caracterizada como manguezal de intermaré, devido sofrer constantes inundações, que ocorrem em função da variação das marés, como também por apresentar uma área topograficamente mais baixa, possuir um porte arbóreo maior e ser colonizada por mangues jovens que margeiam a planície costeira, adaptados às inundações e à elevada salinidade.

A condição natural da floresta, com estrutura bastante diferenciada, formada por árvores de mais ou menos 30 m de altura. Apresenta uma colonização de bosque de mangue composto em sua maioria por *Rhizophora mangle*, indivíduos jovens, e espécies do gênero *Laguncularia*, em alguns pontos existem a presença de árvores mais altas e bosque mais fechado.

Sítio Experimental da comunidade de Caranã

Localizado em São João de Pirabas, na comunidade Caranã, (0°41'9.60" S e 47°15'59.82" W) a sudoeste da Ilha de Itarana, caracterizada como manguezal de supramaré, existe uma zona de apicum no início deste

perfil, que recebe influência de água doce proveniente de igarapés que atingem o local, resultante da água da chuva, principalmente durante o período chuvoso, favorecendo o aparecimento de uma vegetação de pequeno porte, composta principalmente de *Rhizophora mangle*, que não consegue se desenvolver devido a pouca umidade e salinidade elevada.

Este sítio apresenta características de manguezais típicos de intermaré, com solo mais lodoso e úmido, com grande quantidade de pneumatóforos (raízes que crescem verticalmente em direção à superfície e que na maré baixa ficam expostas ao ar), sendo que a espécie *R. mangle* se manifesta de forma mais abundante do que outras espécies, com ocorrência de algumas *Avicennia germinans* com aproximadamente 30 m de altura, e *Laguncularia racemosa* com altura de aproximadamente 12 metros.

Frequência e período sazonal amostrado

A coleta de solo e folhas de serapilheira ocorreu no período menos chuvoso (setembro/2011) e no período chuvoso (abril/2012), nos três perfis de manguezal selecionados, para verificar a dinâmica dos atributos químicos do solo e de nutrientes em folhas de serapilheira, sob condições de precipitação elevada e baixa.

Coletas dos dados de precipitação pluviométrica

Em fevereiro de 2012, foi instalado próximo a área de estudo (0°42'41.44" S e 47°18'2.54" W) um pluviômetro confeccionado de garrafa pet (pluviômetro PET), de acordo com a figura 1, para fornecer informações da quantidade de precipitação no período chuvoso e menos chuvoso. Este pluviômetro foi instalado em São João de Pirabas, na comunidade Pindorama, no quintal de uma casa situada próxima a rodovia PA-124, em local livre de qualquer interferência externa. A distância aproximada do pluviômetro para área 1 e 2 é de, respectivamente, 8,8 km; 4,73 km.

Figura 1: Pluviômetro adaptado com garrafa pet



As medições da quantidade de chuva acumulada em 24 horas foram realizadas diariamente às 9 h da manhã com o auxílio de uma proveta de 250 ml. Após abrir a torneira e posicionar a proveta, anota-se a quantidade de precipitação que caiu dentro do pluviômetro. O pluviômetro PET possui uma área de captação de 177 cm² e 14,5 cm de diâmetro, e foi confeccionado adaptando a técnica de Assunção e Assis (1997).

Além das coletas de precipitação realizadas pelo pluviômetro PET, também foram realizadas medidas com pluviômetro de báscula, resolução de 0.1mm (Figura 2), situado na torre micrometeorológica do LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia) em Cuiarana, próxima a área de estudo (0°39'50.48" S e 47°17'4.05" W). As medições de precipitação são registradas de 10 em 10 minutos, fornecendo dados de precipitação diários e mensais, os quais são armazenados em um data-logger. Esses dados foram fornecidos pela equipe do LBA, responsável pelo monitoramento da torre situada em Cuiarana. A distância desse pluviômetro para o perfil 1, 2 e 3 é de aproximadamente 4,66 km; 3,14 km e 2,97 km, respectivamente. A distância entre o pluviômetro PET e o de báscula é de aproximadamente 5,55 km.

Figura 2: Pluviômetro automático basculante da torre micrometeorológica

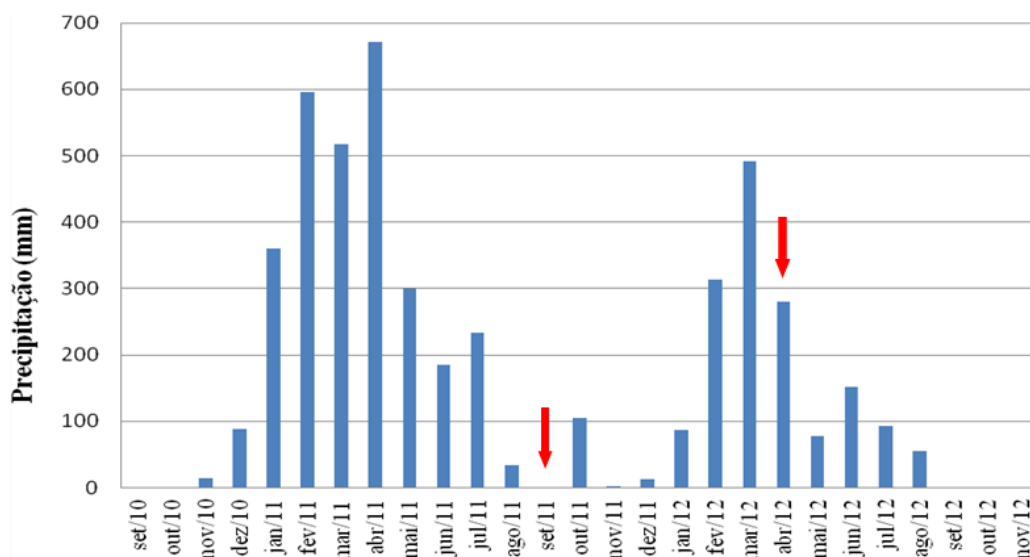


Ao analisar os dados fornecidos pelos dois pluviômetros, observou-se variação entre as medidas pluviométricas, em alguns meses, isso ocorre devido à distância entre os pluviômetros nos sítios amostrais fato que levou a acreditar que a distância dos pluviômetros aos sítios amostrais, bem como a maior proximidade da torre do micrometeorológica do mar, foram fatores que possivelmente influenciaram nessa diferença. A partir dessa consideração, optou-se por utilizar os registros pluviométricos da torre micrometeorológica do LBA.

Os registros, dos anos de 2010, 2011 e 2012, mostraram os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro (Figura 3), com baixos índices pluviométricos em relação aos outros meses o que caracteriza o período Menos chuvoso, a exceção foi o mês de outubro/2011, que registrou 105 mm de chuva. Destaque para o mês de setembro, que teve valor próximo à zero mm (0,254 mm) em 2010 e nos anos de 2011 e 2012 não registrou nenhuma ocorrência de chuva, fato que influenciou nas características do solo, que ficou mais Menos chuvoso, salino e compacto, principalmente nas áreas de apicum, no início do perfil 2.

Os meses com maiores precipitações foram fevereiro, março e abril nos anos de 2011 e 2012 (Figura 3), caracterizando o período mais chuvoso registrado através do pluviômetro de báscula, com o maior pico de 672 mm em abril/2011. No mês de coleta (abril/2012) período chuvoso, a precipitação chegou a 280 mm, o que deixou o solo mais úmido e menos salino.

Figura 3: Valores mensais de precipitação pluviométrica de setembro de 2010 a novembro de 2012, coletada pelo pluviômetro automático basculante, da torre micrometeorológica do LBA, em Cuiarana



Procedimentos de Campo

Seleção dos pontos amostrais

Em cada perfil de manguezal foi realizado um transecto, seguindo a mesma orientação do gradiente de transição ecológico típico de áreas ecótonas, ao longo do qual determinaram-se os pontos de coleta de solo. Na Área 1, estabeleceram-se 5 pontos de coleta de solo em um transecto de 150 m de comprimento. Na Área 2, selecionaram-se 6 pontos de coleta de solo ao longo do transecto de 136 m de comprimento.

Todos os pontos de coleta, bem como outros pontos importantes foram marcados com GPS marca Garmin, modelo GPSmap 76C5x.

Coleta e acondicionamento das amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas com trado tipo calador, indicados para solos argilosos e saturados, e com trado holandês, indicados para solos mais duros, fibrosos e com grande quantidade de raízes.

Na área 1, nos pontos (P1,P2,P3,P4,P5), as amostras foram coletadas com trado calador, nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Na área 2, nos pontos (P1 e P2), as amostras foram coletadas com trado holandês e nos pontos (P3,P4,P5,P6) foram coletados com trado calador, nas profundidades 0-50 cm.

Nas coletas com trado calador, o material foi colocado sobre uma calha e revestido com papel filme e, posteriormente papel alumínio, com objetivo de manter as características originais das amostras e inseri-las em sacos plásticos, com as devidas identificações.

Logo após a coleta de solo com trado holandês e em trincheiras, todas as amostras foram inseridas em sacos plásticos, devidamente identificados, e acondicionadas em caixas de isopor com gelo. Em seguida as amostras foram transportadas até o Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi, em Belém (PA), onde foram protocoladas e enviadas aos laboratórios de análises químicas, ficando armazenadas em freezer a uma temperatura abaixo de 0°C, até a realização dos procedimentos analíticos.

Importante destacar que as coletas de solo ocorreram na maré vazante e de quadratura, que acontece quando as forças de atração do sol e da lua se opõem duas vezes em cada lunação, devido ao quarto crescente e ao quarto minguante da lua, produzindo as marés de quadratura, ou marés de águas mortas, com preamares mais baixas e baixa-mares mais altas (MIGUENS, 1996).

Medidas de Salinidade da água intersticial (Sal), pH do solo em campo e Potencial Redox (Eh) do solo

No campo, as medidas de salinidade da água intersticial realizaram-se com um refratômetro de campo (ATAGO), mediante a extração sobre pressão, de um pequeno volume (gotas) de água intersticial. O Eh (mV) e o pH foram medidos através da inserção direta (em cada amostra de solo) do eletrodo de platina (Eh) e do eletrodo de vidro (pH) de alta precisão.

Procedimentos de laboratório

Preparo e análise química de solo

Nas análises químicas, os perfis de solo foram dispostos separadamente em recipientes de plástico, devidamente limpos e identificados, para a secagem das amostras em uma sala climatizada, livre de contaminações externas. Posteriormente, as amostras foram maceradas, destorroadas com rolo e peneiradas em peneira de malha 1 mm, retirando com pinça, o excesso de raízes finas que passaram através da malha. Este procedimento inicial de preparo de amostras foi adotado para todas as análises químicas.

Carbono orgânico total, nitrogênio total e enxofre

As análises de carbono, nitrogênio e enxofre ocorreram por combustão a Menos chuvoso, em Analisador Elementar- TruSpec CHN/ CHNS.

Fósforo disponível

A determinação de fósforo adotou o método espectrofotométrico, cuja análise utiliza a solução obtida através da extração com extrator de Mehlich, reagindo com o molibdato de amônio e utilizando ácido ascórbico como redutor. A reação resulta na coloração azulada da solução, proporcional ao teor de fósforo presente na solução. As leituras de P foram determinadas no espectrofotômetro UV/vis DB 1880 S (Spectro Vision).

Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio e Ferro

Nas determinações dos macronutrientes sódio e potássio e do micronutriente ferro, utilizou-se o método Mehlich. As leituras de Na e K processaram-se no aparelho Fotômetro de Chama, marca Corning, modelo 400, e as determinações de Fe ocorreram no equipamento Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama da marca Instrumentos Científicos C. G. e

modelo AA 904, equipado com corretor de fundo com lâmpada de deutério.

Para as análises de cálcio e magnésio, utilizou-se o método com solução extratora de KCl, a 1N, pH 7 e as leituras foram feitas no mesmo Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama.

Alumínio

A metodologia empregada para determinação do alumínio foi através da volumetria de neutralização, titulando o NaOH 0,025N até o aparecimento da coloração levemente rósea.

Potencial hidrogeniônico

Foi determinado em água destilada (pH_{H₂O}) e com solução de KCl (pH_{KCl}) na proporção de 1: 2,5. A metodologia utilizada para as análises químicas de solo seguiu as recomendações dos manuais de análise de solos (SILVA, 2003; EMBRAPA, 1997) 2.6 Análises de dados.

Para a análise estatística dos dados realizou-se a média ponderada nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, padronizando-as como a amostra na profundidade de 0-20 cm, permitindo o estudo comparativo entre as áreas estudadas, considerando as profundidades de 0-20cm, 20-40 cm, 40-60 cm.

Primeiramente, aplicou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk nos dados de concentração de nutrientes do solo, através do qual se observou que os dados não apresentam distribuição normal. Em seguida, foram submetidos à análise estatística ACP (Análise de Componentes Principais) ou PCA (Principal Component Analysis), que não apresenta restrições quanto à normalidade dos dados. A ACP é uma técnica matemática da análise multivariada que possui como ideia central a redução do conjunto de dados a ser analisado, principalmente quando os dados são constituídos de um grande número de variáveis inter-relacionadas (VICINI, 2005).

Neste estudo, foram utilizadas apenas as duas primeiras componentes principais, tanto pela facilidade de interpretar gráficos em duas dimensões, quanto principalmente, por juntas (componente principal 1 e 2) totalizarem mais de 70% dos dados, porcentagem acima da qual é considerada suficiente para explicar a distribuição dos dados.

Não foi possível realizar a ACP do potencial redox (Eh), do pH de campo e da salinidade da água intersticial (Sal), pois esses parâmetros não foram medidos em todas as amostras da Área 1, no período de estiagem, bem como nos pontos P1 e P2 situados na zona de

apicium da Área 2, devido o solo encontrar-se muito Menos chuvoso. Sendo assim, para esses parâmetros, utilizou-se a análise estatística descritiva. As análises estatísticas deste trabalho foram realizadas através do software R, versão 2.15.2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de pH em água destilada ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) e dos nutrientes do solo (Na, K, Ca, Mg, C, N, S, P e Fe) na Área 1 e 2, com as respectivas profundidades (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm), na estação chuvosa e menos chuvosa, estão representados no gráfico de ACP (Figura 4), através do qual foram geradas informações relevantes acerca das variáveis em estudo. Na área 1, o Na e K apresentaram maior correlação com o pH na época menos chuvosa e os nutrientes Ca, Fe e Mg maior correlação na época chuvosa.

Figura 4: Gráfico de ACP (com as componentes principais 1 e 2) dos parâmetros químicos do solo, com as profundidades coletadas, nas áreas 1 e 2, durante a época chuvosa e menos chuvosa

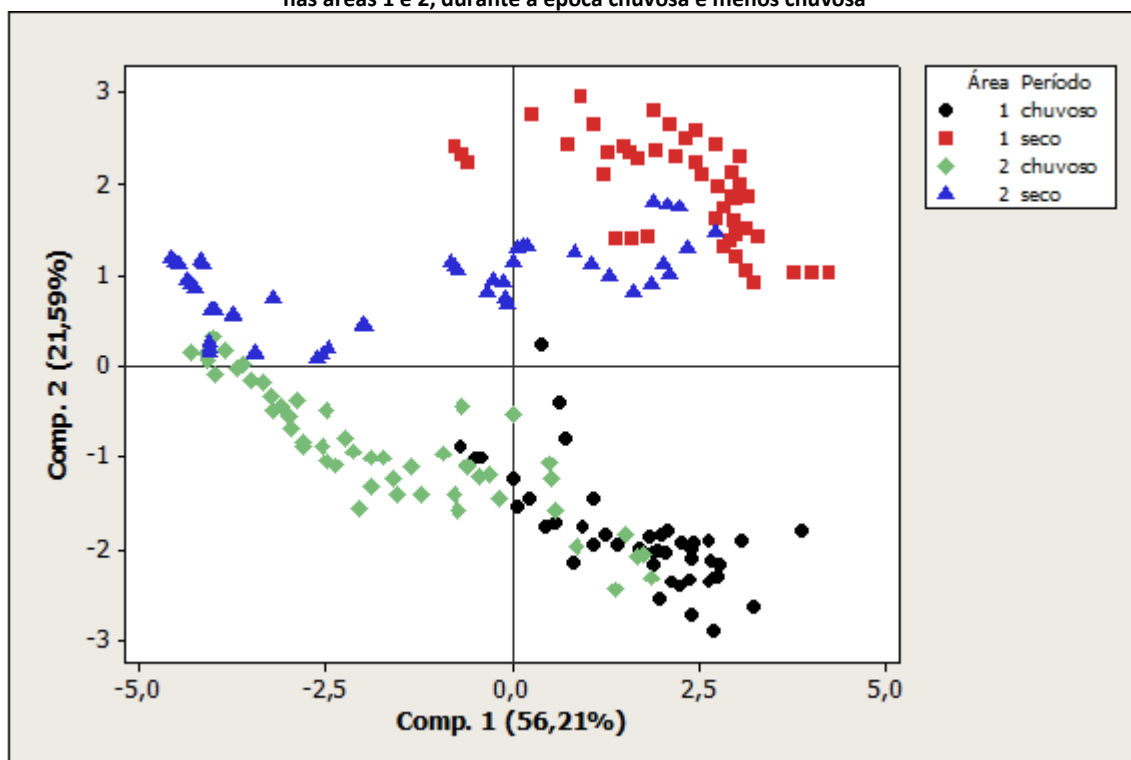
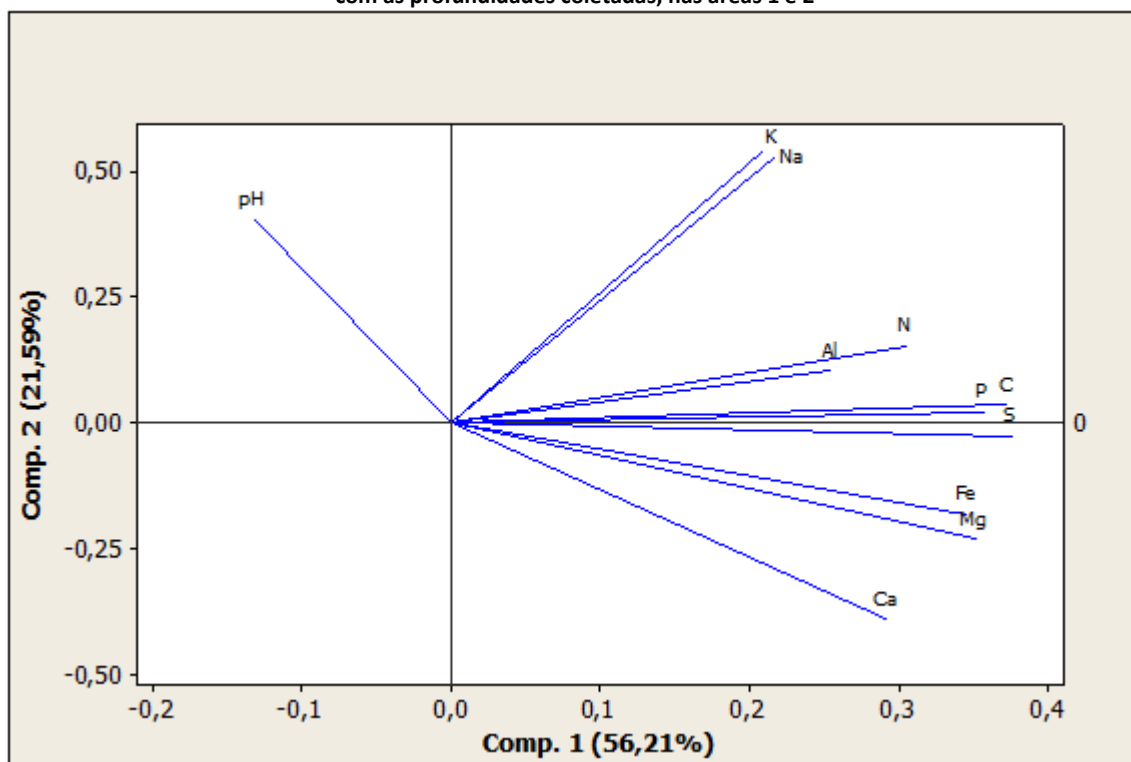


Figura 5: Gráfico de ACP (com as componentes principais 1 e 2) dos parâmetros químicos do solo, com as profundidades coletadas, nas áreas 1 e 2



A componente principal 1 explica 56,21% dos dados e a componente principal 2 (comp. 2) 21,59 %, totalizando 77,8% dos dados. As variáveis que estão associadas à componente 1 são os elementos C, N, S, Ca, Mg, Al, Fe, P e a componente 2 são Na, K e pH.

As variáveis do período sazonal (chuvoso e menos chuvoso), das áreas 1 e 2, profundidades (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm) e nutrientes do solo (Na, K, Ca, Mg, P, C, N, S e Fe) e o pH medido pelo método em água destilada (pH H₂O), foram resumidas em um gráfico que expressa a importância das variáveis para os resultados obtidos, explorando também a correlação entre essas variáveis.

A formação dos agrupamentos em função de dois fatores principais (área e período sazonal) está apresentada na figura 4. Do lado direito do plano das componentes principais, situam-se as amostras da Área 1, e do lado esquerdo as amostras da Área 2. O período de estiagem está representado pelo agrupamento das amostras no plano superior do gráfico e o período chuvoso no plano inferior. A formação desses agrupamentos indica que a profundidade não tem muita influência nos resultados e que a área e o período

sazonal são os fatores que mais explicam a distribuição dos dados.

Os nutrientes Na e o K são variáveis que mais representam a formação do agrupamento no período de estiagem na Área 1, que estão correlacionadas. Esse resultado coincide com as elevadas concentrações desses nutrientes neste período, que atingiram uma média de 520,23 cmoc/dm³ e 163,48 cmoc/dm³, respectivamente. Durante a estação chuvosa, essas concentrações foram bem mais baixas, com média de 11,27 cmoc/dm³ de Na e 4,07 cmoc/dm³ de K na Área 1, em função da diluição desses nutrientes pelas águas da precipitação pluviométrica durante o período chuvoso.

Os aportes de Na, K, Ca e Mg sugerem contribuições das marés, os maiores valores desses cátions encontram-se no perfil 1 (Tabela 1), que está sob constante influência dos canais de maré que entrecortam a Ilha de Itarana.

O período sazonal foi importante para a grande variação de Na e K nas áreas de estudo 1 e 2. Durante a estiagem, as concentrações foram maiores, principalmente no manguezal de intermaré, enquanto que no período chuvoso, a diluição provocada pela água

das chuvas, assim como a lixiviação dos nutrientes do solo provocou uma redução significativa nos teores desses nutrientes. Resultados semelhantes foram encontrados por (BERRÊDO, 2008), no qual o aumento

dos teores de Na, K, Ca, Mg e SO₄-2 reflete o período da estiagem e a presença das águas oceânicas no estuário do rio Marapanim.

Tabela 1: Valores médios dos parâmetros químicos sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e ferro (Fe) na Área 1 e na Área 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, nas profundidades coletadas (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm).

	Profundidade (cm)	ÁREA 1		ÁREA 2	
		Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
Na (cmolc/kg)	0-20	551,46 Aa	9,46 Ba	130,57 Aa	4,53 Ba
	20-40	508,21 Ab	11,28 Ba	145,7 Aa	5,50 Ba
	40-60	501,01 Ab	13,05 Ba	157,36 Aa	5,52 Ba
K (cmolc/kg)	0-20	169,45 Aa	4,03 Ba	35,91 Aa	1,25 Ba
	20-40	165,28 Aab	4,15 Ba	31,86 Aa	1,40 Ba
	40-60	155,69 Ab	4,04 Ba	39,66 Aa	1,33 Ba
Ca (cmolc/kg)	0-20	4,43 Ba	8,55 Ab	1,69 Ba	3,08 Aa
	20-40	5,35 Ba	9,47 Aab	1,61 Ba	3,70 Aa
	40-60	4,86 Ba	9,93 Aa	1,73 Ba	4,00 Aa
Mg (cmolc/kg)	0-20	15 Aa	16,48 Ab	4,07 Aa	5,53 Aa
	20-40	16,29 Ba	21,35 Aa	3,77 Ba	7,22 Aa
	40-60	14,60 Ba	22,32 Aa	4,00 Ba	8,09 Aa
Al (cmolc/kg)	0-20	2,89 Ab	2,50 Aa	2,22 Aa	1,85 Ab
	20-40	5,85 Aa	3,61 Ba	3,51 Aa	2,52 Aab
	40-60	5,81 Aa	3,11 Ba	3,52 Aa	3,45 Aa
Fe (g/Kg)	0-20	2,08 Bb	3,43 Aa	0,79 Aa	1,05 Aa
	20-40	2,55 Ba	2,94 Ab	0,89 Aa	1,13 Aa
	40-60	2,38 Bab	3,02 Aab	1,17 Aa	1,55 Aa

Com base na figura 4, as variáveis C, N, S, P, Ca, Mg, Al e Fe explicam a separação dos grupos em Área 1 e 2, situados do lado direito e esquerdo, respectivamente, do plano das componentes principais, assim como o Na e o K, citados anteriormente, que exercem maior influência sobre os resultados. Essa distribuição das variáveis do lado direito do eixo da componente 2 pode ser muito bem explicada pela elevada concentração desses nutrientes na Área 1, em comparação com a Área 2, que representam manguezais de intermaré e supramaré, respectivamente. Sendo assim, a Área 1 apresenta mangues desenvolvidos, maior contribuição de matéria orgânica transportada pela maré e maior quantidade de serapilheira, enquanto que a Área 2 possui uma vegetação de porte menor e menos denso, menor influência da maré e, portanto, menor aporte de matéria orgânica.

A diferença no teor de matéria orgânica entre as áreas pode é observada pelos teores de carbono, com média

de 40,95g/kg e 21,23 g/kg na Área 1 e 2, respectivamente, na época de estiagem, e 38,47 g/kg e 21,04 g/kg na Área 1 e 2, respectivamente, na época chuvosa.

O acréscimo de material orgânico ao substrato de manguezal é o principal processo de adição que se observa nesse ecossistema, resultante do material de origem vegetal, como folhas, galhos e raízes em decomposição. Esse processo é evidenciado pela distribuição dos valores de carbono orgânico nos substratos, que são mais elevados em superfície e, na medida em que a profundidade aumenta, esses valores vão diminuindo, enfatizando a importante contribuição da vegetação no aporte de matéria orgânica para o solo (VIDAL-TORRADO et. al, 2005).

Além das diferenças nas características ambientais entre as áreas 1 e 2, ainda existem diferenças dentro de cada área. A área 2 se inicia em uma zona de apicum, com presença de *Rhizophora mangle* com altura de até

3 m e solo mais Menos chuvoso e arenoso. Ao final desta área, ocorre a presença de mangues de maior porte, em sua maioria de *R. mangle* (altura média de 9,81m), solo mais argiloso e úmido, indicando contribuição da água e nutrientes nesse desenvolvimento. Essas diferenças observadas explicam o aumento na concentração de carbono ao final da área 2.

Os teores de nitrogênio, de forma geral, foram maiores na área 1 em comparação com a área 2, nos dois períodos sazonais (Tabela 2). Nesta área, o teor de nitrogênio diminui na medida em que se aproxima da zona de apicum, na parte mais interna do manguezal.

Os teores de enxofre também foram mais elevados no manguezal de intermaré, com média de 11,50 g/kg na área 1 e 3,18 g/kg na área 2, durante a época menos chuvosa e, na época chuvosa, a área 1 e 2 apresentaram valores médios de 10,41 g/kg e 3,76, respectivamente. Observou-se um aumento da concentração de enxofre com a profundidade, com valores médios significativamente mais elevados na área 1 em relação a área 2 (Tabela 2).

A zona de oxidação gradativamente se torna zona de redução com a profundidade, mudando a coloração de marrom amarelada na matriz e aspecto marrom escuro, para coloração cinza clara a cinza escura dos sedimentos, representando o aumento da matéria orgânica, a ocorrência da pirita (FeS_2) e a presença de H_2S dissolvidos, explicando o aumento do enxofre com a profundidade.

A variação da condição reduzida-oxidada na zona de apicum, que é exposta por longos períodos nas marés baixas e submersa sob condições de marés muito elevadas (marés de sizígia), favorece a concentração de ferro através da mobilização e precipitação deste metal (HADLICH et. al, 2010). Este processo é evidenciado

pelo aspecto mosqueado encontrado em algumas amostras coletadas no início da área 2, que constitui zona de apicum, apesar disso, os valores de ferro nesta área foram muito inferiores no apicum, em relação ao manguezal, com médias de 0,10 g/kg (ponto P1) e 1,88 g/kg (ponto P5), no período de estiagem, e médias de 0,57 g/kg (ponto P1) e 2 g/kg (ponto P5), no período chuvoso.

A concentração mais elevada de fósforo na área 1 pode ser devido o transporte pelas águas dos canais de maré até os sedimentos na forma de fosfato (PO_4^{3-}), pelas espécies vegetais e maior densidade arbórea nessa área, produzindo mais serapilheira. Na área 1 o teor médio de fósforo foi de 29,97 mg/kg no período menos chuvoso e 26,5 mg/kg no chuvoso, e na área 2 teor de 8 mg/kg e 9,37 mg/kg, evidenciando uma grande diferença entre as áreas.

Segundo (MENDOZA et. al, 2012), a interação de diferentes características físico-químicas entre água intersticial e o regime de inundação pode controlar a concentração de fósforo na fase líquida disponível para os manguezais. A maior variação redox (ΔEh) e maior oxidação foram encontradas na zona de raízes de *A. germinans*, em comparação com a de *R. mangle*, em região de baixa variação de marés, o que pode estar controlando a disponibilidade de fósforo. A maior oxidação na zona de raízes de sedimentos sob *A. germinans* limita a disponibilidade de P e sua distribuição, e o gradiente vertical redox mais baixo sob as árvores de *R. Mangle* resultam em condições redutoras, favorece a formação de fósforo extraível, podendo ser considerada uma resposta adaptativa à absorção de nutrientes sob condições de alagamento.

Os teores de alumínio (Al) não apresentaram grandes variações entre os períodos sazonais, e apresentaram maiores concentrações na estiagem, provavelmente por influência do processo de lixiviação (Tabela 2).

Tabela 2: Valores médios dos parâmetros químicos sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e ferro (Fe) na Área 1 e na Área 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, nas profundidades coletadas (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm).

	Profundidade (cm)	ÁREA 1		ÁREA 2	
		Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
Na (cmolc/kg)	0-20	551,46 Aa	9,46 Ba	130,57 Aa	4,53 Ba
	20-40	508,21 Ab	11,28 Ba	145,7 Aa	5,50 Ba
	40-60	501,01 Ab	13,05 Ba	157,36 Aa	5,52 Ba
K (cmolc/kg)	0-20	169,45 Aa	4,03 Ba	35,91 Aa	1,25 Ba
	20-40	165,28 Aab	4,15 Ba	31,86 Aa	1,40 Ba
	40-60	155,69 Ab	4,04 Ba	39,66 Aa	1,33 Ba
Ca (cmolc/kg)	0-20	4,43 Ba	8,55 Ab	1,69 Ba	3,08 Aa
	20-40	5,35 Ba	9,47 Aab	1,61 Ba	3,70 Aa
	40-60	4,86 Ba	9,93 Aa	1,73 Ba	4,00 Aa
Mg (cmolc/kg)	0-20	15 Aa	16,48 Ab	4,07 Aa	5,53 Aa
	20-40	16,29 Ba	21,35 Aa	3,77 Ba	7,22 Aa
	40-60	14,60 Ba	22,32 Aa	4,00 Ba	8,09 Aa
Al (cmolc/kg)	0-20	2,89 Ab	2,50 Aa	2,22 Aa	1,85 Ab
	20-40	5,85 Aa	3,61 Ba	3,51 Aa	2,52 Aab
	40-60	5,81 Aa	3,11 Ba	3,52 Aa	3,45 Aa
Fe (g/Kg)	0-20	2,08 Bb	3,43 Aa	0,79 Aa	1,05 Aa
	20-40	2,55 Ba	2,94 Ab	0,89 Aa	1,13 Aa
	40-60	2,38 Bab	3,02 Aab	1,17 Aa	1,55 Aa

O pH (H₂O) e o Ca são duas variáveis independentes e inversamente proporcionais, o pH (H₂O), a variável que mais influencia o agrupamento da área 2 na época menos chuvosa, com diminuição do pH (H₂O) em comparação com a época chuvosa, com médias de 4 e 3, respectivamente. Os valores de pH (H₂O) assumem uma escala decrescente na medida que aumenta a profundidade (Tabela 3), diferente dos resultados encontrados por (HADLICH et. al, 2010), em solos sob condições anaeróbicas, como no caso de manguezais sob forte influência das marés, em que o pH fica em torno de 6,7 a 7,2. O pH de campo indica valores mais altos, tendendo a neutralidade assemelhando-se ao trabalho de (HADLICH et. al, 2010).

A análise descritiva permitiu inferir que, de forma geral, o Eh foi redutor na área 1, com média de - 300 mv na estiagem e -305 mv na estação chuvosa, verificando que o período sazonal não alterou os valores para este parâmetro. Na área 2, o Eh apresentou características oxidantes no início do perfil, onde se encontra a zona de apicum, ficando cada vez mais redutor quanto mais próximo do manguezal, no final deste perfil. Nas duas áreas amostradas, o Eh apresentou características fortemente redutoras com a profundidade (Tabela 3),

com exceção da zona de apicum no perfil 2. A característica redutora dos sedimentos de manguezais está associada à baixa declividade, que favorece a influência das águas por um período de tempo maior. Em consequência, os sedimentos são predominantemente redutores, fracamente ácidos a neutros, com salinidade elevada, principalmente durante o período menos chuvoso (BERRÊDO et. al, 2008).

A salinidade intersticial (Sal) está associada à intrusão salina pelas águas dos estuários, precipitação pluviométrica e processo de evaporação (CRUZ, 2009) uma vez que no período Menos chuvoso a evaporação favorece a concentração de sais na superfície do terreno e, no período chuvoso, as águas pluviais propiciam a diluição desses sais (Tabela 3).

Para BERRÊDO (2006) a influência da curta, porém marcante sazonalidade climática do nordeste paraense (especialmente a precipitação pluviométrica e a temperatura), sobre os sedimentos lamosos do estuário do rio Marapanim, onde os efeitos do clima sobre a cunha salina resultou na concentração ou na diluição da salinidade intersticial na superfície do sedimento. No presente estudo, a sazonalidade climática foi fator

determinante para as oscilações de salinidade. Em geral, a salinidade varia em diferentes ecossistemas de

acordo com a topografia, marés (baixas ou altas) e aporte de água doce (Palanisamy et. al, 2009).

Tabela 3: Valores médios de carbono total, pH com água destilada (pH-água), pH em campo (pH-campo), potencial de redox (Eh) e Salinidade intersticial (Sal) na Área 1 e na Área 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, nas profundidades coletadas (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm)

	Profundidade (cm)	ÁREA 1		ÁREA 2	
		Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
pH (água)	0-20	4,52	3,69	4,53	3,44
	20-40	3,66	3,00	4,02	2,99
	40-60	3,57	2,79	3,72	2,74
pH (campo)	0-20	6,15	6,71	6,45	6,51
	20-40	6,68	6,73	6,57	6,23
	40-60	6,76	6,78	6,63	6,08
Eh (mV)	0-20	-232,75	-263,10	-339,58	-67,07
	20-40	-335,60	-317,60	-374,33	-107,80
	40-60	-330,60	-335,73	-193,33	-35,33
Sal	0-20	41,60	19,75	19,75	15,57
	20-40	35,2	29	21	22,27
	40-60	33,6	32,27	28,33	23,47

CONCLUSÃO

A sazonalidade no clima exerceu maior influência sobre os resultados de Na, K e salinidade intersticial, por meio dos processos de evaporação, na estação seca e de diluição, na estação chuvosa, comportamento observado nas duas áreas amostradas.

Existe diferença entre as áreas 1 e 2 com relação ao teor de nutrientes, os quais apresentaram valores mais elevados no manguezal de intermaré (área 1), considerando a totalidade dos nutrientes. A formação de alguns agrupamentos não foi bem explicada nos gráficos de análises de componentes principais (APC),

possivelmente devido a não inclusão de outros parâmetros que podem está influenciando nesses resultados, como o Eh e a salinidade, que são medidas importantes para a caracterização de manguezais.

Em manguezais, vários fatores inter-relacionados devem ser levados em consideração, como o regime de marés, a topografia e a sazonalidade climática, visando um melhor entendimento dos processos de troca que ocorrem dentro do manguezal e entre este e ecossistemas adjacentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto Rede de Mudanças Climáticas/Edital 014/2009/CNPq/FAPESPA, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa/ CNPq pela bolsa concedida à aluna do curso de Ciências Ambientais/UFPA, e ao Museu Paraense Emílio Goeldi/MPEG pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa e infraestrutura de campo e laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAME, M. F.; LOVELOCK, C. E. **Carbon and nutrient exchange of mangrove forests with the coastal ocean.** *Hydrobiologia*, vol. 663, p. 23-50, 2011.
- BERRÊDO, J. F.; COSTA, M. L.; PROGNE, M. P. S. **Efeitos das Variações Sazonais do Clima Tropical Úmido sobre as Águas e Sedimentos de Manguezais do Estuário do rio Marapanim**, Costa Nordeste do Estado do Pará. *Acta Amazônica*, vol. 38, p. 473-482, 2008.
- BERRÊDO, J. F. **Geoquímica dos sedimentos de manguezais do nordeste do estado do Pará: o exemplo do estuário do rio Marapanim.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, 185 p., 2006.
- CRUZ, C. C. da; **Biogeoquímica dos sedimentos lamosos e sua influência no padrão de distribuição da vegetação, no manguezal de Bragança**, NE do Pará. Tese de doutorado- Universidade Federal do Pará, 2009.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos. 2. ed., 1997.
- 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. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 29, n. 4, p. 633-641, 2010.
- LE MOS, R. M. (org.). **Manguezais: Conhecer para Preservar.** Uma Revisão bibliográfica. Brasília: Ícone Editora e Gráfica, 2011.
- MENDOZA, U. N.; CRUZ, C. C.; MENEZES, M. P.; LARA, R. J. **Flooding effects on phosphorus dynamics in an Amazonian mangrove forest**, Northern Brazil. *Plant and Soil*, vol. 353, p. 107-121, 2012.
- MIGUENS, A. P. **Navegação: a ciência e a arte. Navegação eletrônica em condições especiais.** Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, vol. III, 1996.
- PALANISAMY, S.; KHAN, A. B. **Seasonal variations in physico-chemical parameters of water and sediment characteristics of Pondicherry Mangroves.** *African Journal of Basic & Applied Sciences*, vol. 1, p. 36-43, 2009.
- PONNAMPERUMA, F. N. **The chemistry of Submerged Soil.** *Advances in Agronomy, New York*, vol. 24, p. 29-96, 1972.
- SANTANNA, E. M.; WHATELY, M. H. **Distribuição dos manguezais do Brasil.** *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro, p. 47-63, jan/mar, 1981.
- SILVA, S. B. **Análise de Solos. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia.** Serviço e Documentação e Informação, 2003.
- TURENNE, J. F. **L'Écosystème mangrove – Continuité et discontinuité.** 3. ed. Caiena: Reunion Ecolab, 1997.
- VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática.** Monografia, Universidade Federal de Santa Maria, 215 p., 2005.
- VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X. L.; FERREIRA, T.; SOUZA JR, V.; BÍCEGO, M.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M. T.; MACIAS, F. **Solos de mangue: características, gênese e impactos antrópicos.** *Edafologia*, vol. 12. (3), p. 199-244, 2005.