



## **CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS COSTEIROS DOS MUNICÍPIOS DE ARACAJU E BARRA DOS COQUEIROS VIA LEVANTAMENTOS DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA**

## **CHARACTERIZATION OF THE COASTAL SEDIMENTS OF THE MUNICIPALITIES OF ARACAJU AND BARRA DOS COQUEIROS VIA ELECTRICAL RESISTIVITY SURVEYS**

## **CARACTÉRISATION DES SÉDIMENTS CÔTIERS DES MUNICIPALITÉS DE ARACAJU ET BARRA DOS COQUEIROS VIA DES ENQUÊTES DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE**

**Adenilson da Silva Peixoto Junior**

Graduando em Geologia pela Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: nilsonjunio@hotmail.com

**Matheus Oliveira Falheiros**

Graduando em Geologia pela Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: theufalheiros@gmail.com

**Walter Sydney Dutra Folly**

Professor do Núcleo de Estudos em Geologia e Áreas Afins - NEGAA

Departamento de Geologia - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: wsdfolly@gmail.com

### **RESUMO:**

A expansão imobiliária na região metropolitana de Aracaju impeliu o crescimento das cidades sobre terraços marinhos, depósitos eólicos costeiros e sedimentos de pântanos e mangues. Concomitantemente, as pesquisas no campo da Dinâmica Costeira se intensificaram com a utilização de novas geotecnologias. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo a investigação dos depósitos sedimentares litorâneos dos municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros - SE empregando o método geofísico da resistividade elétrica. Foram realizadas 45 sondagens elétricas verticais aproximadamente espaçadas de 1 em 1 quilômetro ao longo costa. Da inversão dos dados obtidos, foram geradas seções de resistividade 2-D das praias situadas a sudoeste e a nordeste da foz do rio Sergipe. Os contatos entre os terraços marinhos holocênicos e os depósitos eólicos recentes revelados nas seções estão em concordância com o Mapa Geológico do Estado Sergipe, CPRM 1997. Tais seções de resistividade também revelaram a provável transição entre terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos em subsuperfície. Devido aos baixos contrastes de resistividade aparente, não foi possível confirmar a ocorrência de plumas de contaminação na área de estudo. No entanto, os resultados obtidos podem ajudar na indicação das regiões mais vulneráveis à contaminação do lençol freático subjacente.

**Palavras-chave:** Lençol Freático; Resistividade Elétrica; Sondagem Elétrica Vertical.

---

### **ABSTRACT:**

The real estate expansion of the Aracaju metropolitan region spurred the growth of the cities on the marine terraces, coastal aeolian deposits and swamp sediments. Concomitantly, the research in the field of Coastal Dynamics has intensified with the use of new geotechnologies. In this sense, the aim of this work was to investigate the coastal sedimentary deposits of the municipalities of Aracaju and Barra dos Coqueiros - SE by employing the geophysical method of electrical resistivity. A total of 45 vertical electrical soundings were performed every 1 km along the coastline. From the inversion of obtained data, 2-D resistivity sections of the beaches located to the southwest and northeast of the Sergipe river mouth were generated. The contacts

between the Holocene marine terraces and the recent aeolian deposits revealed in such sections are in agreement with the Sergipe State Geological Map, CPRM 1997. The resistivity sections also revealed the probable transition between the Holocene and Pleistocene marine terraces in subsurface. Due to the low contrasts of apparent resistivity, it was not possible to confirm the occurrence of contamination plumes. However, the results obtained may help to indicate the regions most vulnerable to the contamination of the underlying water table.

**Keywords:** Water Table; Electrical Resistivity; Vertical Electrical Sounding.

## RÉSUMÉ:

L'expansion immobilière de la région métropolitaine d'Aracaju a stimulé la croissance urbaine sur les terrasses marines, les dépôts éoliens côtiers et les sédiments des marais. Parallèlement, la recherche dans la dynamique côtière s'est intensifiée avec l'utilisation de nouvelles géotechnologies. En ce sens, l'objectif de ce travail était d'étudier les dépôts sédimentaires côtiers des municipalités d'Aracaju et de Barra dos Coqueiros - SE via la méthode géophysique de la résistivité électrique. Un total de 45 sondages électriques verticaux ont été effectués à chaque 1 km le long de la côte. À partir de l'inversion des données obtenues, des sections de résistivité 2-D des plages situées au sud-ouest et au nord-est de l'embouchure de la rivière Sergipe ont été générés. Les contacts entre les terrasses marines holocènes et les récents dépôts éoliens révélés dans ces sections sont en accord avec la carte géologique de l'État de Sergipe, CPRM 1997. Les sections ont également révélé la transition probable entre les terrasses marines holocènes et pléistocènes en subsurface. En raison du faible contraste de résistivité, il n'a pas été possible de confirmer la présence de panaches de contamination. Cependant, les résultats obtenus peuvent indiquer les régions plus vulnérables à la contamination de la nappe phréatique.

**Mots-clés:** Nappe Phréatique; Résistivité Electrique; Sondage Electrique Vertical.

## 1 INTRODUÇÃO

A expansão imobiliária ocorrida ao longo das últimas décadas na região costeira de Aracaju e, mais recentemente, da Barra dos Coqueiros, impeliu o crescimento urbano destas cidades sobre depósitos de terraços marinhos, depósitos eólicos recentes e depósitos de pântanos e mangues. Concomitantemente, em decorrência do impacto ambiental causado pela ocupação destes ambientes, as pesquisas científicas sobre a dinâmica geoambiental relacionada tanto a fenômenos naturais quanto a ações antrópicas, se intensificaram neste mesmo período.

Recentemente, um trabalho foi publicado por Jesus *et al.* (2014), cujo objetivo foi analisar espacialmente os parâmetros granulométricos (tamanho do grão, selecionamento, assimetria e curtose), morfoscópicos (arredondamento e esfericidade) e composicionais (siliciclástico ou bioclástico) dos sedimentos praias do município de Aracaju. No entanto, somente amostras superficiais dos depósitos sedimentares foram consideradas nas análises.

A fim de possibilitar a investigação em perfil (2-D) dos sedimentos litorâneos, os levantamentos geofísicos, especialmente os de eletrorresistividade, vêm sendo utilizados por vários autores. Neste sentido, Lobarinhas *et al.* (2011) empregaram levantamentos de resistividade elétrica para avaliar a interface água doce/água salgada na subsuperfície do litoral de Viana do Castelo –

Portugal. Estes autores obtiveram resultados satisfatórios quanto ao método de resistividade elétrica no estudo entre a interface água doce/água salgada em ambientes costeiros.

Segundo Lisboa *et al.* (2011) e Rizzini (1997), os depósitos sedimentares eólicos, devido às características morfológicas peculiares de suas partículas, apresentam grande potencial para o armazenamento de água doce. Nas praias dos municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros, vários estabelecimentos comerciais utilizam água doce extraída de poços para finalidades diversas tais como banhos públicos, higienização de banheiros, dentre outras. Os efluentes gerados nestas atividades, bem como o esgoto oriundo de diversos condomínios residenciais, são descartados em fossas e sumidouros, visto que a região ainda não é adequadamente atendida por redes de esgotamento sanitário. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo aplicar o método geofísico da resistividade elétrica na caracterização e delimitação espacial dos depósitos sedimentares costeiros dos municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros. Além disso, buscou-se evidenciar as regiões de maior vulnerabilidade do lençol freático dos ambientes praias a possíveis contaminantes.

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO

Ao longo dos municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros ocorre o predomínio das formações superficiais cenozoicas: o Grupo Barreiras, as coberturas terció-quaternárias e as coberturas quaternárias (pleistocênicas e holocênicas). O Grupo Barreiras ocorre predominantemente no leste do estado de Sergipe, separado da linha de costa pelas coberturas continentais pleistocênicas e holocênicas, sendo constituído por sedimentos terrígenos (cascalhos, conglomerados, areias finas e grossas e níveis de areia), pouco ou não consolidados, de cores variadas e estratificação irregular, normalmente indistinta (SCHALLER, 1969; VILAS BOAS *et al.*, 1996, *apud* SANTOS, 1997).

As coberturas terció-quaternárias consistem de depósitos aluvionares e coluvionares. São constituídos por areias, cascalhos e sedimentos síltico-argilosos podendo alcançar até três metros de altura.

As coberturas pleistocênicas englobam os depósitos costeiros quaternários, subdivididos em depósitos de leques aluviais coalescentes (QPI), depósitos eólicos continentais (QPe2 e QPe1) e terraços marinhos. Os depósitos de leques aluviais coalescentes (QPI) são mais antigos que 120.000 anos AP, ou seja, anteriores à época do máximo da Penúltima Transgressão (MARTIN *et al.*, 1979, *apud* SANTOS, 1997). São constituídos por sedimentos arenosos contendo argila e seixos, mal selecionados, não consolidados e com cor esbranquiçada. Podem ser encontrados em trechos retilíneos de encostas do Grupo Barreiras, indicando possivelmente uma transgressão marinha. Os



depósitos eólicos continentais foram subdivididos em duas gerações de dunas. A primeira geração (QPe2) é constituída pelas dunas mais internas, mais antigas, do tipo parabólico, já fixadas pela vegetação. Estas são compostas por sedimentos arenosos, bem selecionados e com grãos angulosos (BRUNI & SILVA, 1983, *apud* SANTOS, 1997). Esse campo de dunas é, portanto, mais antigo que a Penúltima Transgressão marinha, e possivelmente formou-se contemporaneamente aos leques aluviais e em clima mais seco que o atual (BITTENCOURT *et al.*, 1983). As dunas de segunda geração (QPe1) são encontradas sobrepostas aos terraços marinhos holocênicos e às dunas de primeira geração (QPe2). Estas também são parabólicas e estão fixadas pela vegetação, sendo constituídas por areias bem selecionadas e por grãos subarredondados. Baseando-se nas relações com os terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, Bittencourt *et al.* (1983) fixaram sua idade entre 120.000 e 5.100 anos AP.

Os terraços marinhos pleistocênicos (QPa) estão distribuídos pela região costeira do estado de Sergipe, sendo constituídos por areias bem selecionadas com tubos de fósseis *Callianassa* (BRUNI & SILVA, 1983, *apud* SANTOS, 1997). Eles ocorrem na parte inferior dos vales e encostados nas falésias esculpidas nos sedimentos do Grupo Barreiras durante o máximo da Penúltima Transgressão marinha, ou seja, justapostos aos leques aluviais coalescentes.

As coberturas holocênicas da faixa costeira sergipana são constituídas por Depósitos fluviolagunares (QHf), terraços marinhos (QHt), depósitos eólicos litorâneos (QHe1 e QHe2) e depósitos de pântanos e mangues (QHp). Dentre estes, o de maior importância para o referente trabalho são os terraços marinhos holocênicos (QHt) e os depósitos eólicos litorâneos recentes (QHe1). Os terraços marinhos holocênicos (QHt) estão localizados ao longo de toda faixa costeira sergipana, dispostos na parte externa dos terraços marinhos pleistocênicos (QPa). São constituídos de areias litorâneas, bem selecionadas, com conchas marinhas e tubos fósseis de *Callianassa* (BITTENCOURT *et al.*, 1983). Eles foram gerados durante a regressão subsequente à Última Transgressão e, por vezes, estão separados dos terraços marinhos pleistocênicos por uma zona baixa pantanosa.

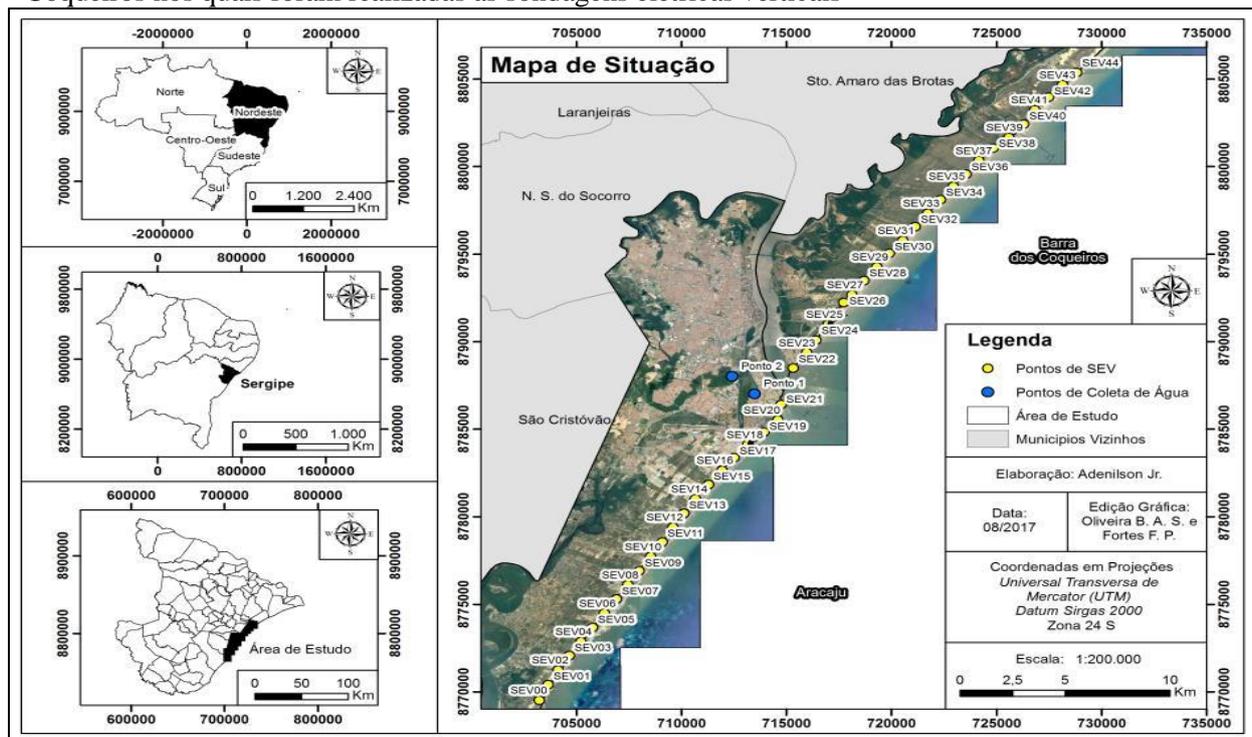
Sobre os terraços marinhos holocênicos, desenvolve-se uma terceira geração de dunas mais recentes que 5.100 anos AP, que se subdivide em dois conjuntos, um mais antigo (QHe2) e outro mais recente (QHe1), formados por dunas parabólicas e barcanas, respectivamente (BITTENCOURT *et al.*, 1983). Estas dunas são constituídas de sedimentos arenosos, bem selecionados e com grãos bem arredondados. As dunas parabólicas (QHe2) ocorrem na parte mais interna dos terraços marinhos holocênicos e estão fixadas pela vegetação. As dunas barcanas (QHe1) bordejam todo o litoral de forma contínua, afastadas em até 1 km da linha costeira. No

entanto, em alguns lugares, encontram-se tão próximas das praias que seus sedimentos chegam a atingir a zona de espriamento justapostos aos sedimentos dos depósitos de terraços marinhos holocênicos (QHt).

### 3 ACESSO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros estão ambos localizados na costa do estado de Sergipe. A sede do município de Barra dos Coqueiros situa-se a cerca de 3 km da capital, Aracaju, sendo acessada pela Ponte Construtor João Alves a partir da rodovia SE-100. Pode-se chegar às praias deste município por estradas vicinais a partir do povoado Jatobá, no qual localiza-se o Terminal Marítimo de Sergipe. O acesso às praias do Município de Aracaju é possível tanto pela Rodovia Presidente José Sarney (trecho da SE-100 na orla do município de Aracaju) quanto pela Rodovia dos Náufragos e suas vias transversais. Os mapas de localização da área e dos pontos de execução das sondagens elétricas verticais são mostrados na figura 1.

**Figura 1:** Linha de pontos georreferenciados do litoral dos municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros nos quais foram realizadas as sondagens elétricas verticais



#### 4 METODOLOGIA

Os levantamentos realizados ao longo dos litorais dos municípios sergipanos de Aracaju e Barra dos Coqueiros totalizaram 45 sondagens elétricas verticais rasas, aproximadamente espaçadas de 1 em 1 km. A primeira sondagem (SEV00) foi realizada no município de Aracaju, próximo à foz do Rio Vaza Barris, e a última (SEV44) foi realizada na Barra dos Coqueiros, na Praia de Jatobá (ver pontos mostrados na Figura 1).

No litoral de Aracaju, as 22 sondagens (SEV00 a SEV21) foram realizados em 6 saídas a campo entre os dias 18/02/2016 e 08/04/2016. Na Barra dos Coqueiros, as 23 sondagens (SEV22 a SEV44) também foram realizados em 6 saídas a campo, porém entre os dias 06/01/2017 e 05/07/2017. As coordenadas UTM dos pontos de sondagem foram determinadas com auxílio de um GPS Garmin, modelo eTrex, considerado o DATUM SIRGAS 2000. Estas coordenadas e as respectivas datas de realização dos levantamentos em campo são mostradas na tabela 1.

**Tabela 1:** Coordenadas UTM dos pontos de sondagem e respectivas datas de campo

Ponto de Sondagem	Longitude UTM 24L	Latitude UTM 24L	Data do levantamento em campo
SEV00	703220	8769510	<b>18/02/2016</b>
SEV01	703653	8770394	
SEV02	704127	8771234	
SEV03	704666	8772056	<b>01/03/2016</b>
SEV04	705216	8772864	
SEV05	705775	8773666	
SEV06	706326	8774480	
SEV07	706911	8775290	<b>04/03/2016</b>
SEV08	707443	8776102	
SEV09	707994	8776912	
SEV10	708524	8777710	
SEV11	709086	8778552	
SEV12	709722	8779322	<b>10/03/2016</b>
SEV13	710261	8780124	
SEV14	710818	8780934	
SEV15	711374	8781744	<b>15/03/2016</b>
SEV16	712020	8782534	
SEV17	712621	8783288	
SEV18	713263	8784026	<b>08/04/2016</b>
SEV19	713984	8784774	
SEV20	714690	8785454	
SEV21	714862	8786450	<b>15/03/2016</b>
SEV22	715320	8788494	<b>06/01/2017</b>
SEV23	715970	8789364	
SEV24	716411	8790074	

SEV25	716973	8790978	<b>19/01/2017</b>
SEV26	717768	8792190	
SEV27	718120	8792672	
SEV28	718739	8793450	<b>07/06/2017</b>
SEV29	719332	8794224	
SEV30	719932	8795004	
SEV31	720534	8795772	
SEV32	721134	8796560	<b>05/07/2017</b>
SEV33	721725	8797334	
SEV34	722331	8798112	
SEV35	722948	8798878	
SEV36	723551	8799568	<b>31/05/2017</b>
SEV37	724214	8800306	
SEV38	724886	8800980	
SEV39	725662	8801572	
SEV40	726381	8802350	<b>01/06/2017</b>
SEV41	726931	8803134	
SEV42	727563	8803890	
SEV43	728226	8804594	
SEV44	728864	8805320	

**Fonte:** os autores/2019

Todas as sondagens foram realizadas em baixa-mar com um resistímetro empregando-se arranjo Wenner de eletrodos (LOKE *et al.*, 2005) com espaçamentos iguais a 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 m, controlados com auxílio de uma trena de 50 m (Figura 2). O alinhamento do arranjo de eletrodos foi mantido paralelo à linha costeira durante todas as medições.

**Figura 2:** Controle do espaçamento entre eletrodos com auxílio de uma trena e resistímetro utilizado nos levantamentos. O alinhamento dos eletrodos foi mantido aproximadamente paralelo à linha costeira em todas as sondagens



**Fonte:** os autores/2018

O resistímetro utilizado nos levantamentos de resistividade (Figura 2) foi desenvolvido no Núcleo de Estudos em Geologia e Áreas Afins – NEGAA/UFS (FOLLY & SENRA, 2016). O equipamento opera alimentado por uma pequena bateria veicular de 12V, sendo capaz de aplicar correntes de teste contínuas de até 2,5A e tensão máxima de excitação da ordem de 560V.



Em todas as sondagens elétricas verticais foram aplicadas correntes de teste contínuas da ordem de 1A, ora em um sentido ( $I_+$ ), ora no sentido oposto ( $I_-$ ), de forma a medir as respectivas diferenças de potencial  $\Delta V_+$  e  $\Delta V_-$ . Esta operação tem como objetivo propiciar o cancelamento das correntes naturais que fluem no solo, bem como dos possíveis potenciais eletroquímicos de contato entre os eletrodos e o solo (FOLLY & SENRA, 2016). A partir dos valores medidos de  $I_+$ ,  $\Delta V_+$ ,  $I_-$  e  $\Delta V_-$ , para cada valor de espaçamento  $a$ , as resistividades aparentes foram calculadas usando-se a seguinte expressão (Eq. 1):

$$\rho_{ap} = \frac{2 \pi a \Delta V}{I} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:  $\Delta V = (\Delta V_+ - \Delta V_-)/2$  e  $I = (I_+ - I_-)/2$ . Estas operações foram realizadas com auxílio do programa *Microcal Origin* versão 8.0.

Após a realização desta etapa inicial de obtenção das resistividades aparentes, os dados foram tratados com auxílio do programa de inversão *IPI2Win* versão 7.01.03 a fim de gerar o perfil geoeletrico 2-D (pseudo-seção e seção de resistividade elétrica) da linha costeira investigada.

A fim de obter valores para comparação, também foram realizadas medições de resistividade de amostras de água coletadas na Maré do Apicum (Figura 1, Ponto 1: coordenadas 24L 713475, 8787019), no Rio Poxim próximo à sua foz (Figura 1, Ponto 2: coordenadas 24L 712404, 8787986), no córrego da Avenida Dr. Sílvio Cabral Santana (Figura 3a, coordenadas 24L 710701, 8781108) e no córrego que desemboca ao lado do Terminal Marítimo de Sergipe, na Praia de Jatobá (Figura 3b, coordenadas 24L 725950, 8802081). Tais medições foram realizadas com o mesmo resistivímetro anteriormente citado, porém acoplado a pequenos eletrodos metálicos especialmente projetados para esta finalidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores médios das resistividades referentes às amostras coletadas nos córregos das praias de Atalaia e Jatobá bem como no Rio Poxim e na Maré do Apicum são mostrados na tabela 2. Nesta tabela também são fornecidas descrições dos aparentes estados de contaminação das amostras e dos locais onde estas foram coletadas. Cabe salientar que no presente estudo não foram

realizadas análises químicas e bacteriológicas das amostras, sendo empregados critérios meramente observacionais em campo, tais como turbidez aparente, odor e traços de óleo sobrenadante.

**Tabela 2:** Resistividades médias das amostras de água coletadas nos locais selecionados.

Local de coleta	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Característica visual da amostra
Rio Poxim	$0,13 \pm 0,01$	turva, aparentemente poluída
Maré do Apicum	$0,21 \pm 0,05$	turva, aparentemente muito poluída
córrego na Orla de Atalaia	$5,1 \pm 0,3$	pouco turva, aparentemente poluída
córrego na Praia de Jatobá	$6,1 \pm 0,3$	límpida, aparentemente não poluída

**Fonte:** Trabalho de campo

Como se pode notar na Tabela 2, os valores de resistividade obtidos são compatíveis com os esperados para águas salgadas e salobras, ainda que estas possam eventualmente conter agentes poluidores diluídos. O valor mais baixo de resistividade observado na amostra de água do Rio Poxim em contraste à da Maré do Apicum pode ser explicado considerando-se que as coletas das amostras foram executadas durante a maré entrante, sendo o ponto de coleta no Rio Poxim mais próximo da saída destes corpos d'água para o mar. O fato da resistividade da água do córrego que desemboca na Praia de Atalaia (Figura 3a) ser mais baixa que a do córrego da Praia de Jatobá (Figura 3b) pode, a princípio, ser associada a um maior teor de poluentes no primeiro, visto que sua amostra apresentou traços de óleo sobrenadantes na inspeção visual e um odor característico de esgoto doméstico. Já as águas do córrego da Praia de Jatobá não apresentaram odores característicos e são aparentemente mais límpidas, considerando-se uma inspeção meramente visual da amostra coletada.

**Figura 3:** Locais de desembocadura dos córregos da (a) Avenida Dr. Sílvio Cabral Santana, próximo ao ponto de execução da SEV 14 e (b) na Praia de Jatobá, próximo ao ponto de execução da SEV 40



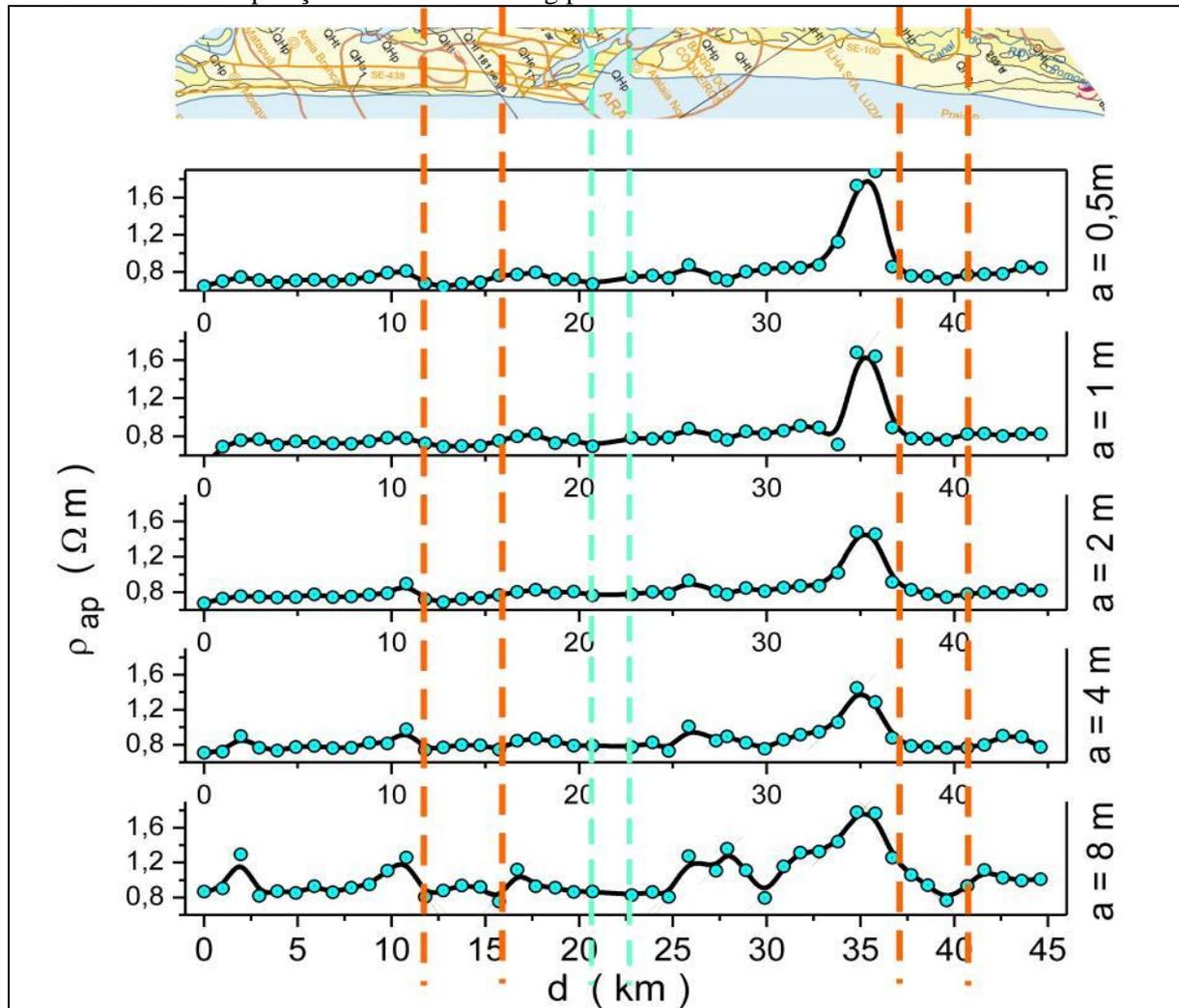
Os dados de resistividade aparente em função da distância obtidos nos litorais de Aracaju e Barra dos Coqueiros, tendo como origem a SEV00 medida próximo ao Farol Sul de Aracaju (foz do Rio Vaza Barris), foram organizados em gráficos para diferentes espaçamentos entre eletrodos (Figura 4).

Uma simples inspeção visual da Figura 4 revela que, independentemente do espaçamento entre eletrodos e, portanto, da profundidade média de investigação, existe um suave incremento dos valores de resistividade ao longo da linha costeira no sentido SW–NE. Uma possível explicação para este fato pode estar na descarga de água doce atribuída ao Rio São Francisco, rio de maior caudal da região. Assim, à medida em que a distância entre o ponto de realização da SEV e a foz do São Francisco diminui, o teor de água doce parcialmente misturada à água marinha ao longo da linha costeira aumenta, fazendo aumentar suavemente a resistividade aparente observada nos sedimentos saturados. Esta hipótese é plausível, visto que na região predominam correntes marinhas de nordeste para sudoeste, tal como indicado na Figura 5 com uma seta.

Na Figura 4, é possível observar que os valores de resistividade aparente medidos nas praias de Aracaju são sensivelmente mais baixos que os observados no litoral de Barra dos Coqueiros, especialmente aqueles observados entre as SEVs 25 e 35 para 8 m de espaçamento. Esta região é praticamente desabitada, o que nos faz supor a presença de um lençol freático praticamente livre de poluentes que poderiam contribuir para a diminuição da resistividade elétrica.

Também é possível notar na Figura 4 que as discontinuidades de resistividade nas SEV12 e SEV16 na Praia de Atalaia – Aracaju, bem como, nas SEV36 e SEV40 na Praia de Jatobá – Barra dos Coqueiros são notavelmente coincidentes com as transições entre terraços marinhos holocênicos (QHt) e sedimentos eólicos recentes (QHe1). Tal fato foi demarcado na Figura 4 com linhas tracejadas em laranja e nas Figuras 5 e 6 com linhas tracejadas azuis para evidenciar a correspondência com o Mapa Geológico do Estado de Sergipe (SANTOS, 1997). Além disso, as discontinuidades de resistividade observadas nas SEV12 e SEV16 na Praia de Atalaia apresentaram uma razoável concordância com os resultados de granulometria e morfologia descritos por Jesus *et al.* (2014) mencionados previamente neste trabalho.

**Figura 4:** Resistividades aparentes medidas nos litorais dos municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros, para diferentes valores de espaçamento. As linhas descontínuas em laranja demarcam as transições entre os depósitos sedimentares marinhos (QHt) e eólicos (QHe1). As linhas descontínuas em azul demarcam a posição da foz do Rio Sergipe



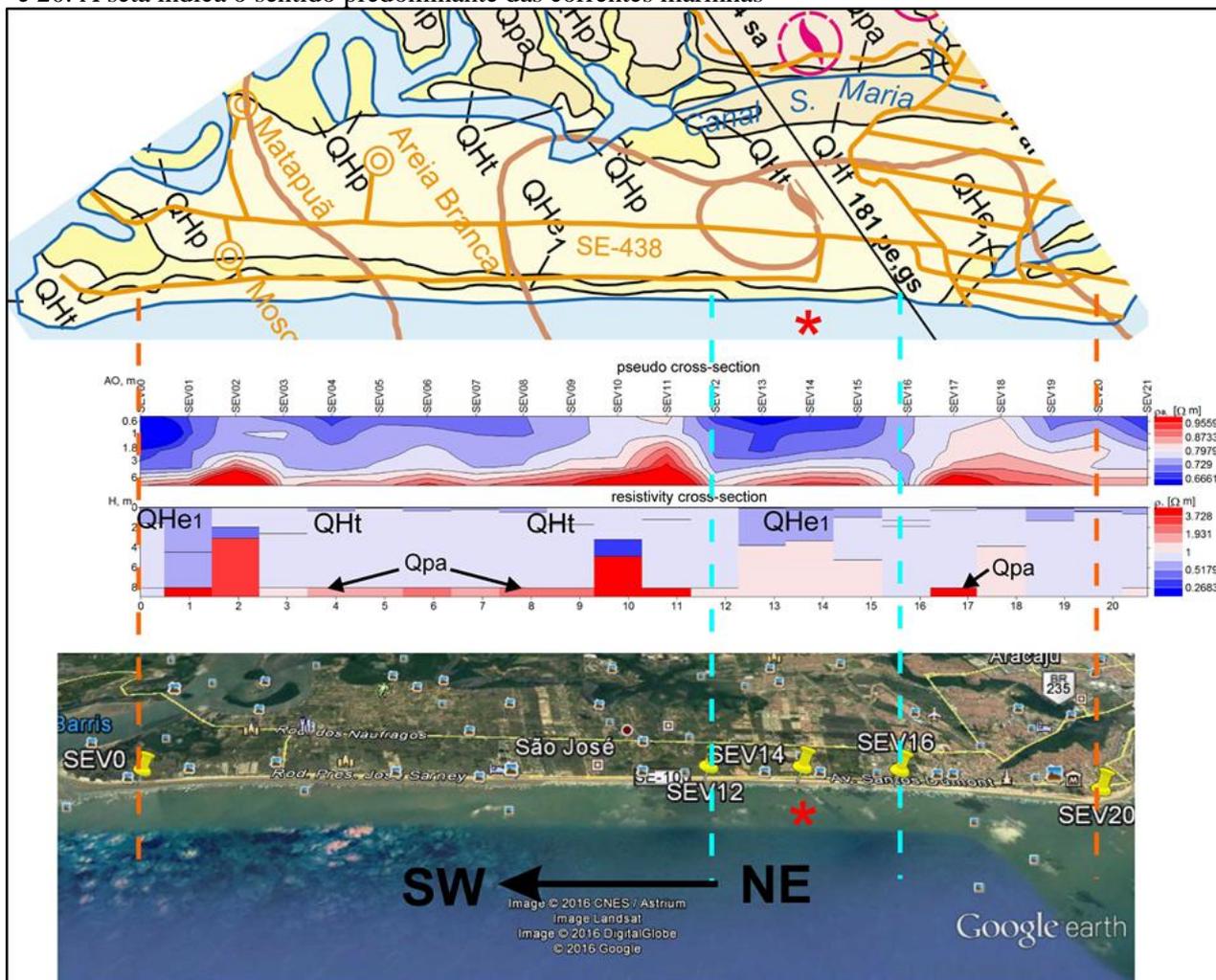
Fonte: Os autores

A posição da antiga foz do Rio Sergipe pela Barra Sul, que de acordo com Wanderley (2013) foi posteriormente fechada por processos naturais de sedimentação, é aproximadamente coincidente com as posições das SEVs 17 e 18, que apresentaram valores de resistividade mais elevados que os observados nas SEVs vizinhas. Tais valores são compatíveis com sedimentos mais grossos e moderadamente selecionados de origem fluvial, fato que também é corroborado pelo trabalho de Jesus *et al.* (2014).

Na Figura 5 é mostrado, tanto na pseudo-seção de resistividade aparente quanto na seção de resistividade, que o depósito de sedimentos eólicos recentes (QHe1) encontra-se sobreposto aos terraços marinhos holocênicos (QHt) localizados na Praia de Atalaia – Aracaju (região demarcada com um asterisco vermelho, entre as SEV12 e 16). Situação semelhante ocorre na Praia de Jatobá –

Barra dos Coqueiros, mostrada na Figura 6. Nestas figuras também é possível observar, nas pseudo-seções e seções de resistividade, os sedimentos eólicos recentes (QHe1) sobre os terraços marinhos (QHt), em concordância com o Mapa Geológico do Estado de Sergipe (SANTOS, 1997).

**Figura 5:** Pseudo-seção de resistividade aparente e seção de resistividade do litoral de Aracaju obtidas com o software IPI2Win. As linhas descontínuas em azul demarcam o depósito eólico (QHe1) entre as SEVs 12 e 16 aproximadamente. As linhas descontínuas em laranja demarcam as posições das SEVs 00 e 20. A seta indica o sentido predominante das correntes marinhas

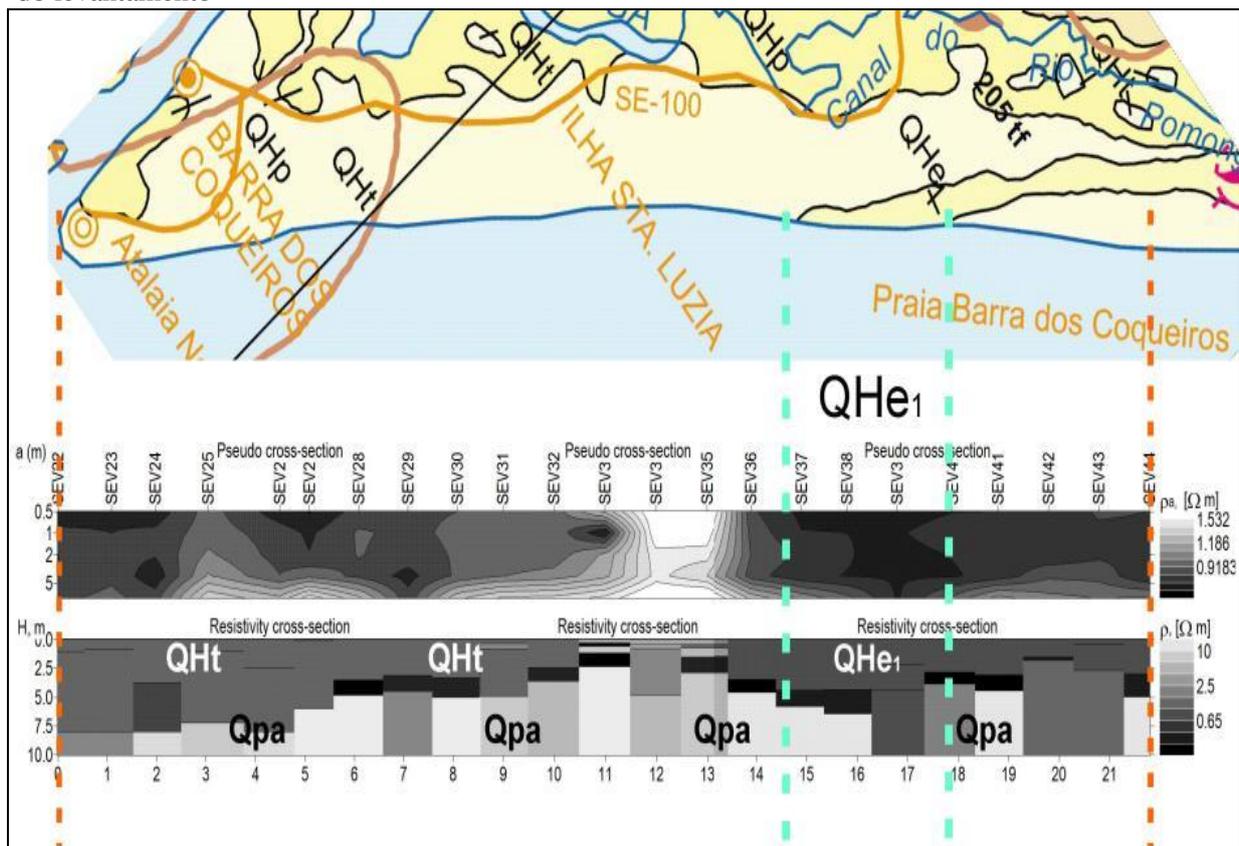


Fonte: Os autores

Um outro aspecto interessante da subsuperfície estudada, que pode ser observado tanto na seção de resistividade do litoral de Aracaju (Figura 5), quanto na seção do litoral de Barra dos Coqueiros (Figura 6), é a ocorrência de uma camada de resistividade mais elevada, provavelmente constituída de sedimentos mais compactos e menos permeáveis, com menos água nos interstícios entre grãos. O topo desta camada mais resistiva se apresenta mais profundo na costa de Aracaju (profundidades da ordem de 10 m), sendo que se torna gradativamente mais raso em direção a NE de forma que, entre as SEV33 e SEV35 (no município Barra dos Coqueiros), a profundidade média

de seu topo é estimada entre 2,2 e 2,8 m aproximadamente. Os sedimentos que constituem esta camada podem ser hipoteticamente correlacionados com os terraços marinhos pleistocênicos (QPa) que, segundo Bittencourt *et al.* (1983), foram depositados após a Penúltima Transgressão, posteriormente expostos e parcialmente erodidos durante a regressão subsequente e então recobertos pelos terraços marinhos holocênicos (QHt) no período que sucedeu a Última Transgressão.

**Figura 6:** Pseudo-seção de resistividade aparente e seção de resistividade do litoral da Barra dos Coqueiros obtidas com o software IPI2Win. As linhas descontínuas em azul demarcam o depósito eólico (QHe1) entre as SEVs 37 e 40. As linhas descontínuas em laranja demarcam as extremidades do levantamento



**Fonte:** Os autores

Imediatamente acima da camada mais resistiva supostamente associada aos terraços marinhos pleistocênicos, observa-se em vários perfis de resistividade, principalmente no litoral da Barra dos Coqueiros, entre as SEV28 e SEV44 (Figura 6), uma faixa de resistividade bem baixa ( $\rho < 0,4 \Omega m$ ) que pode ser explicada considerando o modelo de Glover para intrusões salinas (LOBARINHAS *et al.*, 2011).

Segundo este modelo, espera-se encontrar uma camada de sedimentos saturados com água salgada (baixíssima resistividade) a uma profundidade que aumenta com raiz quadrada da distância



entre o ponto considerado e linha d'água da praia. Ou seja, próximo ao litoral, a profundidade da interface água doce / água salgada é dada pela Equação 2:

$$z = \sqrt{\frac{2 Q' \rho_f x}{K(\rho_s - \rho_f)}} + \frac{Q' \rho_f}{K(\rho_s - \rho_f)} \quad \text{Eq. (2)}$$

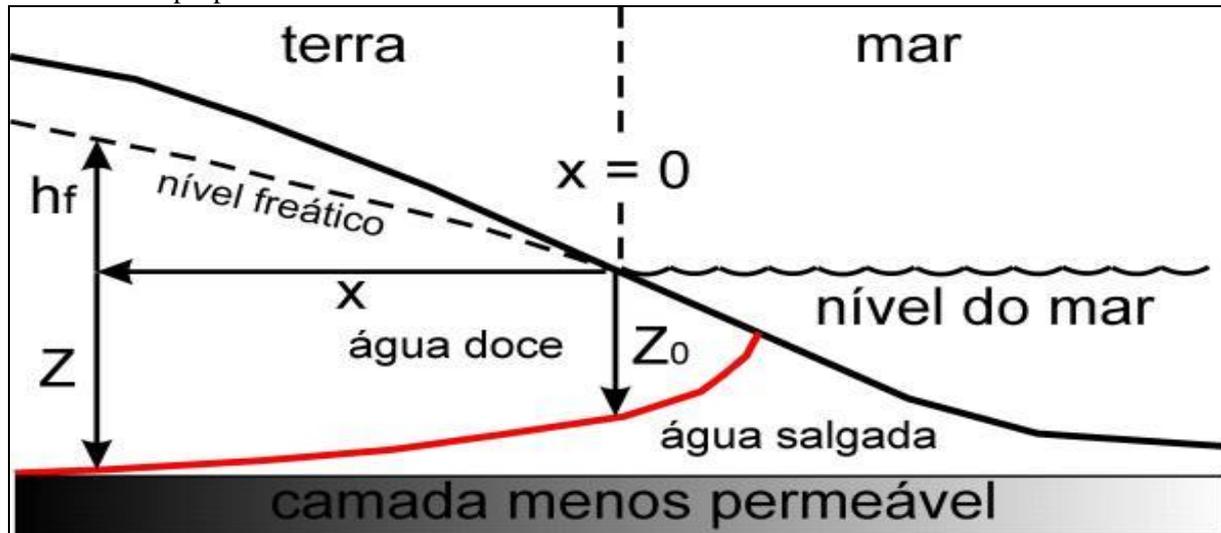
onde  $x$  é a distância perpendicular entre o ponto considerado e a linha d'água,  $Q'$  é a descarga de água doce por unidade de comprimento da costa,  $\rho_f$  é a densidade da água doce,  $\rho_s$  é a densidade da água salgada e  $K$  é a condutividade hidráulica dos sedimentos.

Pode-se observar, tanto na Figura 7 quanto na própria Equação 2, que para  $x = 0$  (nível do mar) a interface água doce / água salgada encontra-se a uma profundidade  $z_0$  dada pela Equação 3 a seguir:

$$z_0 = \frac{Q' \rho_f}{K(\rho_s - \rho_f)} \quad \text{Eq. (3)}$$

No contexto do trecho da seção de resistividade entre as SEVs 28 e 38 (Figura 6) por exemplo, a interpretação do esquema mostrado na Figura 7 revela que abaixo da posição da linha d'água (em  $x = 0$ ) é esperado, pelo modelo de Glover, encontrar uma cunha salina (baixa resistividade elétrica) cujo topo se encontra a uma profundidade  $z_0$  em relação ao nível do mar no momento das medições e cuja base pode ser interpretada como sendo uma camada menos permeável (mais compacta e mais eletrorresistiva), supostamente associada aos terraços marinhos pleistocênicos (QPa).

**Figura 7:** Modelo de Glover para uma intrusão salina no qual se supõe que a água salgada é estática e que, ao nível do mar, a interface água doce/água salgada encontra-se a uma profundidade  $z_0$  que é diretamente proporcional à descarga de água doce por unidade de comprimento da linha costeira e inversamente proporcional à condutividade hidráulica dos sedimentos



## 5 CONCLUSÕES

O emprego de levantamentos de resistividade elétrica se mostrou eficiente na localização das posições dos depósitos eólicos recentes sobre os terraços marinhos tanto na Praia de Atalaia (Aracaju) quanto na Praia de Jatobá (Barra dos Coqueiros), sendo observada concordância com o Mapa Geológico do Estado de Sergipe (SANTOS, 1997).

Os depósitos eólicos apresentam um grande potencial para o acúmulo de água doce ao longo da linha de dunas que ocorre paralelamente à costa. Assim, as subsuperfícies das regiões onde foram evidenciados os depósitos eólicos recentes, que correspondem aos 4 km de praia entre as SEV12 e SEV16 e aos 3 km de praia entre as SEV37 e SEV40, podem ser consideradas como particularmente vulneráveis do ponto de vista ambiental.

Devido aos valores muito baixos de resistividade apresentados pelos sedimentos saturados com água salgada ou salobra, o método não se mostrou capaz de revelar contrastes de resistividade inequivocamente associados a plumas de contaminação por esgoto doméstico subjacentes. Ainda assim, a observação de valores mais altos de resistividade elétrica em faixas praticamente despovoadas do litoral em contraponto à observação de valores mais baixos em faixas mais densamente povoadas pode ter relação com a poluição do lençol freático nestas últimas, tendo em vista que grande parte da região litorânea dos municípios estudados ainda não conta com redes de esgotamento sanitário.



A camada mais resistiva observada nas seções de resistividade das praias de Aracaju e Barra dos Coqueiros pode ser hipoteticamente atribuída aos sedimentos dos terraços marinhos pleistocênicos. No entanto, a confirmação ou rejeição desta hipótese depende da realização de novos estudos geofísicos e da análise comparativa de dados de poços perfurados próximos às linhas costeiras destes municípios.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao PIBIC/COPES/UFS pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

BITTENCOURT, A. C. S. P., MARTIN, L., DOMINGUEZ, J. M. L., FERREIRA, Y. A. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas, In: **Revista Brasileira de Geociências** v. 13, n. 2, p. 93, 1983.

BRUNI, M. A. L., SILVA, H. P. Geologia. In: **Mapa Geológico do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000**. Aracaju: MME/DNPM/SICT/CODISE, 1983.

FOLLY, W. S. D., SENRA, A. S. A low-cost resistivimeter for use in practical lectures of Applied Geophysics, In: **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 34, n. 1, 2016.

IPI2Win (versão 7.01.03) **Resistivity Sounding Interpretation**, Moscow State University.

JESUS, L. V., ANDRADE, A. C. S., SILVA, M. G., RODRIGUES, T. K. Distribuição espacial das características granulométricas, morfoscópicas e composicionais dos sedimentos das praias de Aracaju – Sergipe, In: **Scientia Plena** v. 10, n. 2, 2014.

LISBOA, C. M. C. A., CAMPOS, U. M. e SOUZA, S. K. S. Mapeamento e caracterização dos remanescentes de dunas do município de Natal - RN, Brasil, In: **Revista Brasileira de Arborização Urbana** v. 6, n. 3, p. 64-83, 2011.

LOBARINHAS, D., GOMES, R., LIMA, A., FERREIRA DA SILVA, J. Determinação da interface água doce/água salgada no litoral de Viana do Castelo (NW de Portugal) com recurso ao método da resistividade eléctrica, In: **VI Congresso de Planeamento e Gestão da Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**, 2011.

LOKE, M. H. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies – A practical guide to 2-D and 3-D surveys. Disponível em: <[https://pangea.stanford.edu/research/groups/sfmf/docs/DCResistivity\\_Notes2.pdf](https://pangea.stanford.edu/research/groups/sfmf/docs/DCResistivity_Notes2.pdf)>. Acesso em: 4 de agosto de 2015.

MARTIN, L., BITTENCOURT, A. C. S. P., VILAS BOAS, G. S. *et al.* **Introdução ao estudo do Quaternário do litoral do Estado da Bahia – trecho Salvador-Ilhéus**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 9, n. 4, p. 309-320, 1979.

MICROCAL ORIGIN (versão 8.0) **One Round House Plaza**, Northampton, MA 01060 USA: Microcal Software Inc.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. São Paulo: Âmbito Cultural, 1997.

SANTOS, R. A. dos. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. **Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000. Texto explicativo do Mapa geológico do Estado de Sergipe**. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT; CODISE, 156 p; 200. 1997.

SCHALLER, H. Região estratigráfica da Bacia de Sergipe/Alagoas. In: **Boletim Técnico da Petrobras**, v. 12, n. 1, p. 21-86, 1969.

VILAS BOAS, G. S. As coberturas Paleozóicas e Mesozóicas. In: **BARBOSA, J. S. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. (Coords.) Geologia da Bahia**: texto explicativo. Salvador: SGM, 1996. 382 p. il. Convênio SICT/UFBA/SGM/FAPEX. Anexo 1 Mapa Geológico do Estado da Bahia, escala 1:1000.000.

WANDERLEY, L. L. A dinâmica geomorfológica e urbano-ambiental do Sistema flúvio-marinho rio Sergipe – rio Poxim, em Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil. Revista **GeoNordeste**, Ano XXIV, n. 2, p. 56-80, 2013.

Recebido em 16 de Abril de 2019

Aprovado em 19 de Maio de 2019

