



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**VICTOR ARRAES ROCHA FÉLIX**

**REGISTROS DO HOLOCENO MÉDIO E TARDIO NO NORDESTE DO  
BRASIL - ANÁLISE DE UM PERFIL SEDIMENTAR EM UM LAGO NO  
BAIXO JAGUARIBE (CE) A PARTIR DE INDICADORES BIOGEOQUÍMICOS**

**FORTALEZA**

**2018**

VICTOR ARRAES ROCHA FÉLIX

REGISTROS DO HOLOCENO MÉDIO E TARDIO NO NORDESTE DO BRASIL -  
ANÁLISE DE UM PERFIL SEDIMENTAR EM UM LAGO NO BAIXO  
JAGUARIBE (CE) A PARTIR DE INDICADORES BIOGEOQUÍMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Oceanografia.

Orientador: Profa. Dra. Rozane Valente Marins.

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda.

Fortaleza

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A796r Arraes Rocha Félix, Victor.

Registros do Holoceno Médio e Tardio no Nordeste do Brasil - Análise de um perfil sedimentar em um lago no Baixo Jaguaribe (CE) a partir de indicadores biogeoquímicos / Victor Arraes Rocha Félix. – 2018.

38 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Rozane Valente Marins.

Coorientação: Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda.

1. Geoquímica. 2. rio Jaguaribe. 3. Testemunho Sedimentar. 4. Holoceno. I. Título.

CDD 551.46

---

VICTOR ARRAES ROCHA FÉLIX

REGISTROS DO HOLOCENO MÉDIO E TARDIO NO NORDESTE DO BRASIL -  
ANÁLISE DE UM PERFIL SEDIMENTAR EM UM LAGO NO BAIXO  
JAGUARIBE (CE) A PARTIR DE INDICADORES BIOGEOQUÍMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Oceanografia

Orientador: Profa. Dra. Rozane Valente Marins.

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Rozane Valente Marins (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Alexandre Araújo Costa  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

*Às minhas mães.  
À harmonia e ao tempo.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à minha Família, por todo apoio ao longo desses anos e pelo incessante incentivo à leitura e à curiosidade que são tão importantes no fazer científico. Em especial à Mamãe, Mainha, vovô Rocha, Vitória, Raquel, tio Hugo, Pedro, Fernando e Geralda.

Ao Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda e à Profa. Dra. Rozane Valente Marins por me proporcionarem a oportunidade ímpar de realizar esse trabalho, o qual certamente modificou completamente minha percepção dos processos ambientais, com os quais sempre é possível aprender algo novo a respeito da resiliência e do equilíbrio humano, que apesar do seu posicionamento no mundo, ainda é parte integrante da natureza.

A todos os colegas do Laboratório de Biogeoquímica Costeira pelos conhecimentos compartilhados ao longo dos anos, em especial à Isabelle B. Caracas e ao Prof. Dr. José Edvar Aguiar pela imprescindível ajuda nas análises.

Aos meus colegas do curso de Oceanografia pelo companheirismo ao longo desses tempos turbulentos, onde desfrutamos de ótimos momentos juntos, mesmo nas dificuldades inerentes à uma graduação. Em especial a Filipe, Vanessa, MV e Franklin pela amizade duradoura. E à Sibebe pela música que foi além da graduação.

Ao Oceano, pelo incessante enigma que propõe a quem se atreve a tentar compreendê-lo.

Muito Obrigado.

*“-Te vais separar dos teus antepassados. Agora, tens de transformar num novo homem.  
O velho Nganga atirou os ossinhos mágicos sobre a pele de gazela.  
Os ossos caíram todos numa linha, disciplinados.  
-Está a ver, todos alinhados? Isso quer dizer: você é um homem de viagem. E aqui vejo  
água, vejo o mar. O mar será tua cura, continuou o velho.  
A terra está carregada das leis, mandos e desmandos. O mar não tem governador.  
Cuidado, meu filho, só mora no mar quem é mar.”*

*-Mia Couto*

## RESUMO

O testemunho CE1308 é um registro de mudanças paleoambientais na região do Baixo Jaguaribe que podem ter ocorrido devido à forçantes paleoclimáticas atuantes no Nordeste do Brasil durante o Holoceno Médio e Tardio. A datação por radiocarbono registrou dois períodos distintos, o mais antigo entre 6.100 e 5.637 anos atrás, entre 263 cm e 90 cm, e o mais recente entre 3.575 e 2.925 anos atrás, entre 88 cm e 12 cm. A análise dos indicadores biogeoquímicos (matéria orgânica, razões isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , metais-traço e argilominerais), indicou que o período no Holoceno Médio possuía características estuarinas, com um ambiente sub-óxido e elevado aporte de matéria orgânica de plantas vasculares e de argilominerais originados nas bacias afluentes, através de transporte fluvial. O período no Holoceno Tardio possuía características lacustres, com um ambiente óxido, produção primária algal e uma composição de argilas originadas em planícies costeiras e carreadas por processos eólicos. A análise sugere uma alteração morfodinâmica no rio Jaguaribe, que poderia se estender até a região do Baixo Jaguaribe durante o Holoceno Médio devido à maior pluviometria, seguido pela formação de um ambiente lacustre com certo grau de salinidade durante o período mais seco do Holoceno Tardio.

**Palavras-chave:** Geoquímica. rio Jaguaribe. Testemunho sedimentar. Holoceno.



## ABSTRACT

CE1308 is a record of paleoenvironmental changes in the Baixo Jaguaribe region that may have occurred due to the paleoclimatic forcings in the Northeast of Brazil during the Middle and Late Holocene. Radiocarbon dating recorded two distinct periods, the oldest between 6,100 and 5,637 years ago, between 263 cm and 90 cm, and the most recent between 3,575 and 2,925 years ago, between 88 cm and 12 cm. The analysis of the biogeochemical indicators (organic matter, isotope ratios  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , trace metals and clay minerals), indicated that the period in the Middle Holocene had estuarine characteristics, with a sub-oxide environment and high organic matter supply of vascular plants and clay minerals from the drainage basin through river transport. The Late Holocene period had lacustrine characteristics, with an oxide environment, primary algal production and a composition of clays originated in coastal plains and carried by wind processes. The analysis suggests a morphodynamic change in the Jaguaribe River, which could extend to the Lower Jaguaribe region during the Middle Holocene due to the higher rainfall, followed by the formation of a lacustrine environment with a certain degree of salinity during the driest period of the Late Holocene.

**Keywords:** Geochemistry. Jaguaribe river. Longcore. Holocene.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 – Celulas de Walker, Hadley, dipolo positivo do Atlântico e El Niño áreas vermelhas, Dipolo Negativo e La Niña áreas azuis..... 18
- Figura 3.2 – Variações nas razões isotópicas de  $\delta^{18}\text{O}$  analisadas em espelotemas no Rio grande do Norte, indicando as variações de precipitação nas duas regiões durante o Holoceno. Periodos datados no testemunho CE1308 no Holoceno Médio (verde) e Holoceno Tardio (bege)..... 20
- Figura 3.3 – Variação na atividade do El-Niño Oscilação Sul em escalas de tempo milenares durante o Holoceno. Periodos datados no testemunho CE1308 no Holoceno Médio e Holoceno Tardio..... 21
- Figura 3.4 – Modelo de evolução paleoambiental do estuário do rio Jaguaribe proposto por Turq B. (2016). Idades em anos antes do presente..... 22
- Figura 3.5 – Localização dos pontos de coleta..... 22
- Figura 3.6 – Coleta do tesmunho CE1308 em lago com 30 cm de lâmina d’água, na região do Aracati, Baixo Jaguaribe, CE..... 23
- Figura 3.7 – Textura do testemunho CE1308, coletado na região de Aracati, Baixo Jaguaribe..... 23
- Figura 4.1 – Distribuição vertical dos resultados do radiocarbono no testemunho CE1308 coletado em lago da região de Aracati, Baixo Jaguaribe. Divisão do Holoceno Médio (verde) e Tardio (bege) baseada em WALKER et al., (2012)..... 26
- Figura 4.2 – Distribuição vertical do teor de matéria orgânica no testemunho CE1308 coletado em lago da região de Aracati, Baixo Rio Jaguaribe. Periodos datados no Holoceno Médio e Holoceno Tardio..... 27
- Figura 4.3 – Distribuição vertical das concentrações de isótopos estáveis  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  e razão C/N no testemunho CE1308. Periodos datados no Holoceno Médio e Holoceno Tardio..... 28

Figura 4.4 – Distribuição vertical dos teores de alumínio(Al) e ferro(Fe), e das concentrações de manganês(Mn), zinco(Zn) e cobre(Cu) no testemunho CE1308. Periodos datados no Holoceno Médio e Holoceno Tardio.....	29
Figura 4.5 – Composição mineralógica das argilas do testemunho CE1308.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	– Resultados da datação dos sedimentos por radiocarbono.....	26
Tabela 4.2	– Correlação dos metais-traço com a matéria orgânica, para as profundidades de 90cm a 266cm.....	30
Tabela 4.3	– Correlação dos metais-traço com a matéria orgânica, para as profundidades de 12cm a 88cm.....	30
Tabela 5.1	– Médias dos indicadores biogeoquímicos no Holoceno Médio e Tardio.....	33

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
2.1	<b>Objetivos gerais</b> .....	16
2.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	16
3.	<b>METODOLOGIA</b> .....	17
3.1	<b>Área de estudo</b> .....	17
3.2	<b>Climatologia Regional</b> .....	17
3.3	<b>Paleoclimatologia do Holoceno Médio e Tardio</b> .....	19
3.4	<b>Paleoambiente na Região do Jaguaribe</b> .....	21
3.5	<b>Coleta do testemunho sedimentar CE1308</b> .....	22
3.6	<b>Análises Químicas</b> .....	24
3.6.1	<i>Datação</i> .....	24
3.6.2	<i>Matéria Orgânica</i> .....	24
3.6.3	<i>Análise do <math>\delta^{13}\text{C}</math> e <math>\delta^{15}\text{N}</math></i> .....	24
3.6.4	<i>Metais-traço</i> .....	24
3.6.5	<i>Argilominerais</i> .....	25
3.6.6	<i>Plotagem e Correlação</i> .....	25
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
4.1	<b>Holoceno Médio e Tardio no Nordeste do Brasil</b> .....	26
4.2	<b>Matéria Orgânica, <math>\delta^{13}\text{C}</math>, <math>\delta^{15}\text{N}</math> e razão C/N</b> .....	27
4.3	<b>Metais-traço</b> .....	28
4.4	<b>Argilominerais</b> .....	31
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	33
6	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

As secas que periodicamente afetam o Nordeste do Brasil são um fenômeno que causa grandes impactos sociais, econômicos e ambientais. A população dessa região não vive satisfatoriamente por conta dessa instabilidade climática, criando um grande dilema a ser resolvido por políticas governamentais. As principais consequências das secas estão relacionadas à baixa produtividade agrícola e à baixa disponibilidade de água nos centros urbanos e comunidades rurais (PAULO, 2004).

No Nordeste a atmosfera apresenta uma condição estável média causada pelo ramo descendente da célula de Walker que inibe processos convectivos de larga escala, sendo a principal causa do clima semiárido na região (PAULO, 2004). Além disso, a influência antrópica devido às emissões de carbono na atmosfera possivelmente irão promover alterações climáticas que podem modificar os regimes de precipitação no Nordeste, intensificando as secas (MARENGO, 2008). A fim de compreender as variações climáticas que afetam o Nordeste deve-se ir além dos dados obtidos instrumentalmente por aparelhos meteorológicos e satélites contemporâneos. Os estudos paleoclimáticos são uma interessante forma de avaliar como os regimes de precipitação variaram ao longo do tempo e geram indicadores que podem ser utilizados para desenvolver modelos para a previsão climática em possíveis cenários futuros.

Padrões climáticos com maiores amplitudes temporais podem ser reconstruídos a partir de análises paleoclimáticas utilizando indicadores biogeoquímicos, ou *geochemical proxies*, (MAYEWSKI et al., 2004). Esses indicadores, quando analisados em testemunhos sedimentares profundos, fornecem informações a partir das quais mudanças paleoambientais podem ser inferidas. A matéria orgânica preservada em perfis sedimentares lacustres constitui em um destes *proxies*. Os dois tipos mais importantes de informações indiretas fornecidas pela matéria orgânica sedimentar são a abundância e o tipo de biota que a produziu (MEYERS, 1997). A matéria orgânica das algas, que são ricas em proteínas e pobres em celulose, tem valores molares C/N que estão comumente entre 4 e 10, enquanto plantas terrestres vasculares, pobres em proteínas e ricas em celulose, geralmente tem razões C/N de 20 ou mais (MEYERS, 1994).

Sedimentos lacustres também são um importante repositório de metais-traço, tanto de origem antropogênica quanto natural, como ferro, alumínio, manganês, entre outros. A análise da concentração desses metais revela um quadro fascinante de numerosas reações químicas interdependentes que podem refletir diferentes processos de

oxidação e redução, que junto aos processos biológicos, alteram a disponibilidade desses metais no ambiente (YOUNG; HARVEY, 1992).

O ferro é um micronutriente indispensável ao metabolismo dos seres vivos. As diversas formas em que se encontra nos ambientes aquáticos dependem das variações nas condições redox, no pH e temperatura do meio. Na forma reduzida  $Fe^{+2}$ , o ferro torna-se solúvel. Na forma oxidada  $Fe^{+3}$ , a maior parte do ferro encontra-se adsorvido em argilominerais ou complexado a substâncias orgânicas (ESTEVES, 1988). O comportamento do manganês (Mn) em ambiente aquático é muito semelhante ao do ferro, em soluções com baixo potencial redox e baixo pH ambos os elementos têm íons bivalentes solúveis. Já em ambientes óxidos, o manganês ocorre na forma de  $Mn^{+3}$  e  $Mn^{+4}$ , na forma insolúvel, complexado à matéria orgânica ou na forma de oxi-hidróxidos (KRAUSKOPF; BIRD, 2003). O cobre (Cu) e o zinco (Zn) são elementos essenciais para o metabolismo das plantas superiores e dos animais (ALLOWAY, 1995). O cobre pode ser adsorvido no solo por óxidos de ferro, alumínio e manganês, argilas e matéria orgânica, sendo esse fenômeno favorecido pelo aumento do pH (MCBRIDE, 1994). Já em ambientes anaeróbios e ácidos, o cobre encontra-se mobilizado na forma de sulfetos,  $CuS$  (EVANKO; PH; DZOMBAK, 1997). O  $Zn^{+2}$  também é adsorvido em soluções oxidadas em forma insolúvel associada a oxi-hidróxidos de ferro e manganês (SIMÕES, 2007) e em condições anaeróbias encontra-se na forma de sulfeto (ANJOS, 2003).

Os argilominerais são outro *proxy* sedimentar importante. Eles compõem grande parte da família dos filosilicatos, sendo afetados de diferentes maneiras pelo processo intempérico (NEMECZ, 1981). Esse processo engloba todos os mecanismos responsáveis pela fragmentação da rocha, produção de íons dissolvidos e desenvolvimento de formações pedológicas na superfície da Terra (CHAMLEY, 1989). Algumas argilas, como a ilita, sucumbem prontamente à hidrólise e são eventualmente remobilizados. Outros, como a esmectita e a caulinita, são muito menos afetados e, portanto, podem se acumular (SINGER, 1984). A caulinita desenvolve-se em quase todos os tipos de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares sob o clima quente-úmido (CHAMLEY, 1989). Já uma abundância em ilita indica um ambiente com intemperismo físico dominante. A esmectita será mais abundante em ambientes com estações contrastadas (SINGER, 1984) ou pela transformação da caulunita *in situ* (BERRÊDO et al., 2008).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

O presente estudo se propõe a analisar mudanças paleoambientais na região do Baixo Jaguaribe a partir de um testemunho sedimentar lacustre, utilizando indicadores biogeoquímicos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar a dinâmica paleoclimática local a partir da datação geocronológica do sedimento;
- Quantificar a matéria orgânica e sua composição isotópica para determinar a sua origem;
- Quantificar e correlacionar a distribuição vertical das concentrações de Fe, Al, Mn, Cu e Zn;
- Determinar o conteúdo de minerais de argila de algumas amostras;
- Relacionar as variações no ambiente sedimentar estudado com as forçantes paleoclimáticas que afetaram a pluviometria no Nordeste do Brasil e com as variações na morfodinâmica do estuário do Rio Jaguaribe.



### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Área de estudo**

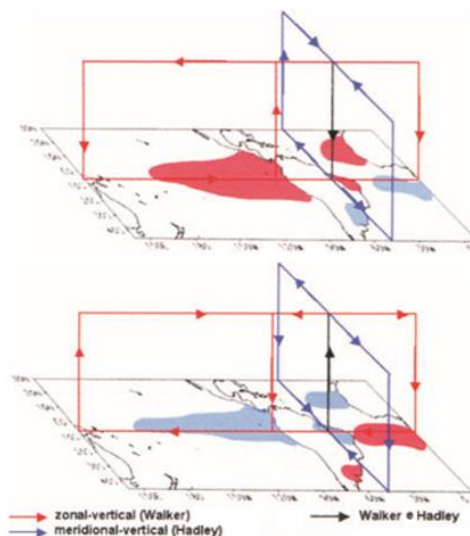
A bacia hidrográfica do rio Jaguaribe está situada em sua quase totalidade dentro dos limites do Estado do Ceará, com ínfima parcela estendendo-se ao sul para o Estado de Pernambuco, ocupando parte dos municípios de Exu, Moreilândia e Serrita. (IBGE, 1999). Segundo as características locais, a bacia do rio Jaguaribe obedece a uma subdivisão em setores principais: do Alto Jaguaribe, do Médio Jaguaribe, do Baixo Jaguaribe e as sub-bacias do rio Salgado e do rio Banabuiú (PNRH, 2006). A região do Baixo Jaguaribe, área alvo desse estudo, está situada em uma microrregião que engloba as cidades de Itaiçaba, Aracati e Fortim, e inserida na zona de domínio do clima semiárido, com uma pluviosidade média anual (1988 a 2009) de 924 mm (DE OLIVEIRA, 2012).

#### **3.2 Climatologia Regional**

Em relação as condições atuais da atmosfera do Nordeste do Brasil, observa-se uma condição estável média causada pelo ramo descendente da célula de Walker que inibe processos convectivos de larga escala, sendo a principal causa do clima semiárido na região. As condições oceanográficas, principalmente as alterações na temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico, estão associadas a anomalias na atmosfera que intensificam ou amenizam a precipitação no Nordeste (PAULO, 2004).

Essas anomalias se relacionam com o enfraquecimento, intensificação ou deslocamento das circulações de larga escala na atmosfera no plano meridional e zonal, principalmente àqueles ligados às células de circulação de Hadley e Walker (Figura 1). A circulação de Walker é resultado da "gangorra" de pressões superficiais entre o hemisfério oriental e ocidental, ligando esses centros de ação através de uma circulação atmosférica no plano zonal, restrita na faixa tropical, com um ramo ascendente sobre o Pacífico ocidental e um ramo descendente sobre o Nordeste do Brasil. Por outro lado, o aquecimento diferencial entre os trópicos-extratropicais resulta na formação de uma circulação meridional, a circulação de Hadley, com um ramo ascendente sobre as áreas equatoriais e descendentes sobre as latitudes subtropicais em ambos os Hemisférios. (AMBRIZZI; SOUZA; PULWARTY, 2004)

**Figura 3.1: Celulas de Walker, Hadley, dipolo positivo do Atlântico e El Niño áreas vermelhas, Dipolo Negativo e La Niña áreas azuis.**



**Fonte: (Adaptado de AMBRIZZI et al, 2004)**

Integrada à célula de Hadley está a mais proeminente estrutura climática associada a influência do Atlântico nos trópicos, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). (MAYEWSKI et al., 2004). Atualmente, observa-se que a ZCIT migra sazonalmente no Atlântico Tropical, atingindo 10° N norte em agosto e 1° S em março e sua influência direta no Nordeste é observada pelos níveis máximos de precipitação quando ela está sobre a região. O Dipolo negativo do Atlântico proporciona uma tendência da ZCIT permanecer mais ao Sul, promovendo uma maior precipitação no Nordeste do Brasil. (FEREIRA; MELO, 2005).

O Dipolo se caracteriza por um aquecimento anômalo na temperatura de superfície do mar (TSM) do Atlântico Tropical (Figura 1) e, conseqüentemente, nos campos de pressão atmosféricos (ARAGÃO, 1998). Esse fenômeno altera a circulação meridional da célula de Hadley e inibe ou aumenta a formação de nuvens sobre o Nordeste do Brasil. Quando a TSM do Atlântico Tropical Norte está mais quente que o normal e a TSM do Tropical Sul está mais fria, existem movimentos atmosféricos descendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil inibindo a precipitação e podendo causar secas. Na situação contrária, existem movimentos ascendentes anômalos sobre o Nordeste mantendo a ZCIT nessa região por mais tempo, aumentando a precipitação e provocando enchentes em diversas ocasiões.

Apesar da forte influência do Oceano Atlântico, o clima na região Nordeste também está intrinsecamente ligado às condições no Oceano Pacífico e ao El-Niño

Oscilação Sul. A margem leste do Oceano Pacífico na região tropical da América do Sul é caracterizada por uma TSM relativamente fria que influencia fortemente o clima continental adjacente. Porém, esse padrão climático é drasticamente modificado nos períodos de El-Niño. Essa situação gera grandes mudanças nos padrões de vento e chuva na América do Sul e tem uma relação direta com as chuvas no Nordeste do Brasil (MARTIN et al., 1993).

O El-Niño e a Oscilação do Sul (ENOS) são fenômenos oceano-atmosfera globais interligados. As anomalias climáticas relacionadas a esses fenômenos são bastante persistentes, durando vários meses principalmente na atmosfera tropical (ARAGÃO, 1998). O El-Niño é o aquecimento anômalo da TSM no Pacífico Tropical, da costa do Peru-Ecuador até o oeste do Pacífico (Figura 1). A Oscilação Sul é a variação anômala da pressão atmosférica tropical, sendo uma resposta atmosférica ao El-Niño, associada a mudanças na circulação geral da atmosfera. Nos anos de El-Niño a pressão tende a valores mais baixos no Pacífico tropical e aumenta no restante da região tropical. Os valores baixos da pressão, o aumento da evaporação no Pacífico e a mudança dos ventos alísios aumentam os movimentos ascendentes, formam mais nuvens e produzem mais chuva nessa região. Os movimentos ascendentes acelerados modificam as células de Walker, causando movimentos descendentes anômalos em outras partes da atmosfera tropical, principalmente no sentido zonal. Esses movimentos descendentes inibem a formação de nuvens e reduz a precipitação, criando secas moderadas à fortes, como no caso do Nordeste do Brasil (ARAGÃO, 1998).

### **3.3 Paleoclimatologia do Holoceno Médio e Tardio**

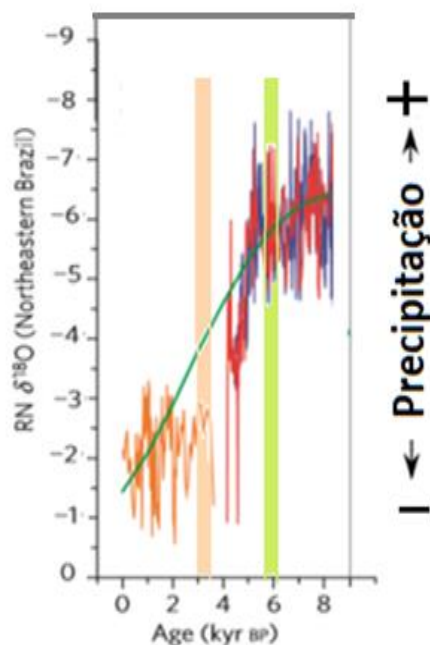
Durante o Holoceno, a distribuição sazonal da insolação no topo da atmosfera terrestre variou consideravelmente por conta dos ciclos de precessão e obliquidade (CRUZ et al., 2009). A radiação solar disponível no topo da atmosfera no período do Holoceno Médio foi significativamente diferente da atual. Há 6.000 anos, durante o verão do Hemisfério Norte a Terra estava mais próxima do sol (periélio) do que no presente, modificando o ciclo sazonal de insolação (DE MELO; MARENGO, 2008).

Quando o periélio coincide com o verão de um hemisfério, a baixa atmosfera nesse hemisfério se torna mais quente e úmida. Criando um verão com maior convergência e movimentos ascendentes, intensificando os sistemas climáticos. O vapor d'água adicional leva a uma maior precipitação na região tropical. Já no hemisfério

oposto, a temporada de verão terá menos insolação e uma atmosfera mais seca (MERLIS et al., 2013).

Durante o Holoceno Médio, os valores da insolação no verão estavam abaixo da média atual no Hemisfério Sul e induziram um contraste terra-mar menos efetivo (PRADO et al., 2013). Menos energia estava disponível na baixa troposfera e diminuía o movimento ascendente. Assim, a formação de chuva foi prejudicada, caracterizando um clima mais seco, em média, se comparado ao atual (DE MELO; MARENGO, 2008). Entretanto, a célula de Walker com ramo descendente sobre o Nordeste também foi suavizada. A subsidência sobre o Nordeste, que inibe a formação de nuvens, ficou abaixo da média moderna, aumentando a precipitação na região (Figura 3.2). Consequentemente, a precipitação no Nordeste foi antifásica com o resto da América do Sul nesse período (CRUZ et al., 2009).

**Figura 3.2** Variações nas razões isotópicas de  $\delta^{18}\text{O}$  analisadas em espelotemas no Rio grande do Norte, indicando as variações de precipitação nas duas regiões durante o Holoceno. Períodos datados no testemunho CE1308 no Holoceno Médio(verde) e Holoceno Tardio(bege).

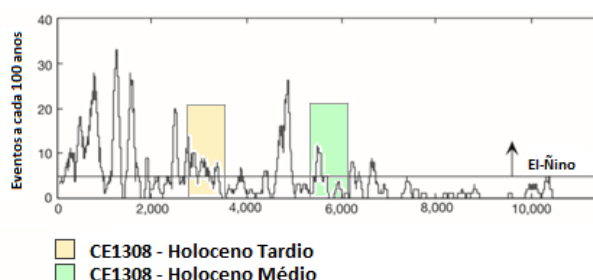


Fonte: ( Adaptado de CRUZ et al, 2009)

No período subsequente, o Holoceno Tardio, as forçantes astronômicas que controlam a entrada de radiação solar na atmosfera terrestre se moveram para padrões mais similares aos atuais (DE MELO; MARENGO, 2008). Influenciando sistemas paleoclimáticos e paleoceanográficos, e alterando a cobertura de gelo do planeta (MAYEWSKI et al., 2004). Esses processos impulsionaram a atmosfera do Nordeste a uma condição mais próxima da atual, caracterizando-se por um período mais seco do que o encontrado no Holoceno Médio (Figura 3.2), mas que possui uma ampla variabilidade (VIANA et al., 2014).

No Holoceno Tardio, houve um aumento na frequência do El-Niño Oscilação Sul (CRYSTAL et al., 2002) que pode ter corroborado com o aumento das secas no Nordeste (Figura 4.2). As forçantes astronômicas que aumentaram a quantidade de calor na atmosfera tropical do Hemisfério Sul podem ter sido uma das causas do aumento desse fenômeno (HAUG et al., 2001).

**Figura 3.3** Variação na atividade do El-Niño Oscilação Sul em escalas de tempo milenares durante o Holoceno. Períodos datados no testemunho CE1308 no Holoceno Médio e Holoceno Tardio.

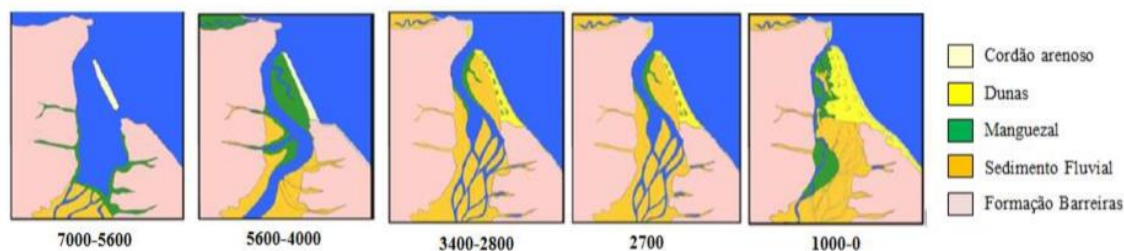


Fonte: ( Adaptado de CRYSTAL et al, 2002)

### 3.4 Paleoambiente na Região do Jaguaribe

No Relatório Técnico do projeto “Impactos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas do Nordeste Brasileiro: Estudos na Bacia do Jaguaribe e nos ambientes costeiros associados” Turq B. (2016) propõe um modelo de evolução paleoambiental para o estuário do rio Jaguaribe a partir de uma interpretação preliminar de perfis coletados na região. Esse modelo será utilizado como referência para as discussões dos indicadores biogeoquímicos no perfil CE1308 utilizado no presente trabalho.

Figura 3.4 Modelo de evolução paleoambiental do estuário do rio Jaguaribe proposto por Turq B. (2016). Idades em anos antes do presente.



Fonte: (Adaptado de TURQ, 2016)

### 3.5 Coleta do testemunho sedimentar CE1308

A figura 3.3 mostra a localização dos perfis coletados para atender ao projeto intitulado “Impactos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas do Nordeste Brasileiro: Estudos na Bacia do Jaguaribe e nos ambientes costeiros associados”. No ponto CE1308 foi feita uma amostragem de 2,72 m de profundidade e na ocasião, o lago apresentava uma lâmina de água de 30 cm (Figura 3.4).

Figura 3.5 Localização dos pontos de coleta.

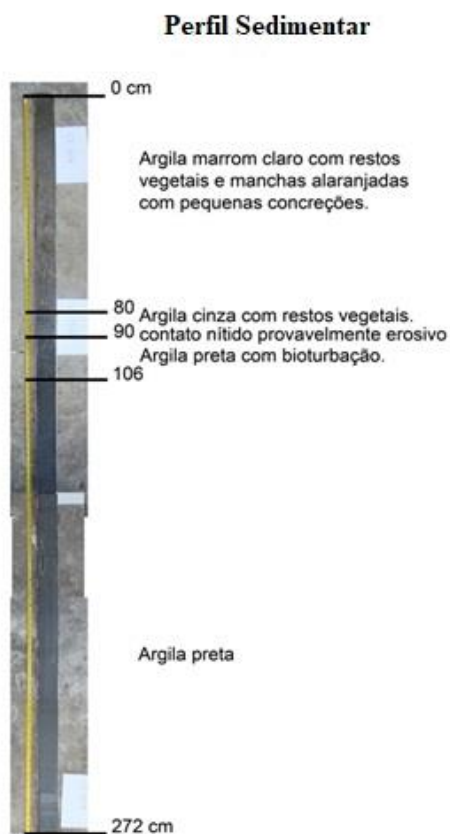


**Figura 3.6 Coleta do testemunho CE1308 em lago com 30 cm de lâmina d'água, na região de Aracati, Baixo Jaguaribe, CE.**



Após a coleta foram retiradas fotos do testemunho, e registrada a textura geral dos grãos do sedimento (Figura 3.5). O testemunho foi encaminhado ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira da Universidade Federal do Ceará, onde foi seccionado a cada 2 cm e estas subamostras foram secas para retirar o excesso de umidade e guardado em sacos plásticos ao abrigo de calor e luz.

**Figura 3.7 Textura do testemunho CE1308, coletado na região de Aracati, Baixo Jaguaribe.**



## 3.6 Análises Químicas

### 3.6.1 Datação

A datação por radiocarbono é o método radiométrico mais utilizado e mais antigo disponível. Os átomos de  $C^{14}$  são continuamente produzidos na atmosfera superior, onde o fluxo de raios cósmicos leva à colisão de nêutrons livres com outros átomos e moléculas. Um dos efeitos dessas reações nucleares é o deslocamento de prótons de átomos de nitrogênio para produzir átomos de carbono. O isótopo radioativo possui uma meia vida de 8270 anos antes de se decompor no átomo do elemento estável, sendo utilizado para datar os compostos orgânicos (BJORCK, 2001). A datação foi realizada utilizando o método de calibração proposto por STUIVER e REIMER (1993).

### 3.6.2 Matéria Orgânica

A matéria orgânica presente nos sedimentos foi determinada através do método de perda por ignição. Esse método consiste na estimativa do conteúdo de matéria orgânica utilizando a relação entre a massa perdida por ignição e o peso total da amostra dependendo da temperatura ao qual o sedimento foi trabalhado. Nesse estudo o método para a determinação de matéria orgânica por via seca, segue o trabalho realizado por JEFFERY, et al (1992).

### 3.6.3 Análise do $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$

Amostras foram enviadas ao Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Norte Fluminense para a análise da composição isotópica de  $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$  utilizando um Espectrômetro de Massa por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS).

### 3.6.4 Metais-traço

As análises das concentrações dos metais dos metais alumínio (Al), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica Costeira do LABOMAR. Foram escolhidas profundidades correspondentes às áreas mais significantes de variações no testemunho a partir dos dados pretéritos de matéria orgânica. Cerca de 0,5 gramas de cada amostra foi digerida em duplicata em tubos digestores de teflon através da técnica de extração parcial, utilizando 12 ml de água-régia 100% ( $HNO_3$ :  $HCL$ , 1:3). As amostras foram levadas ao forno micro-ondas Mars Xpress, e os extratos produzidos foram posteriormente quantificados por



Espectrometria de Absorção Atômica de Chama, usando espectrômetro modelo AA-6200 da marca Shimadzu, cada elemento foi determinado nos comprimentos de onda específicos, utilizando lâmpadas de cátodo oco (Hamamats Photonics). A exatidão do método foi confirmada mediante análise de um material de referência certificado de sedimento estuarino (NIST 1646-A) sob as mesmas condições das amostras.

### **3.6.5 Argilominerais**

O teor de argilas foi calculado a partir do método analítico de Difração de Raios-X (DRX) (LAST, 2001). A fração argila ( $<2\mu\text{m}$ ) foi extraída após o tratamento com  $\text{H}_2\text{O}_2$ , para retirada da matéria orgânica, gerando uma imagem de cada espectro DRX (3 por amostra: 1 Orientado Normal; 1 Orientado Aquecido a  $500^\circ\text{C}$  por 3 h e 1 Glicerol Orientado). Foi medida a área de cada um dos três picos com o software de processamento de dados DRX. Os dados utilizados representam as medidas nas orientações gliceroladas, porque foi nessas que se teve uma melhor separação dos picos de esmectita e de ilita.

### **3.6.6 Plotagem e Correlação**

Foi utilizado o software Microsoft Excel para a plotagem dos gráficos de concentração dos metais, argilas e isótopos. O Excel também foi utilizado para calcular a razão C/N. O software Statistica foi utilizado para a análise da correlação dos metais-traço e da matéria orgânica.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Holoceno Médio e Tardio no Nordeste do Brasil

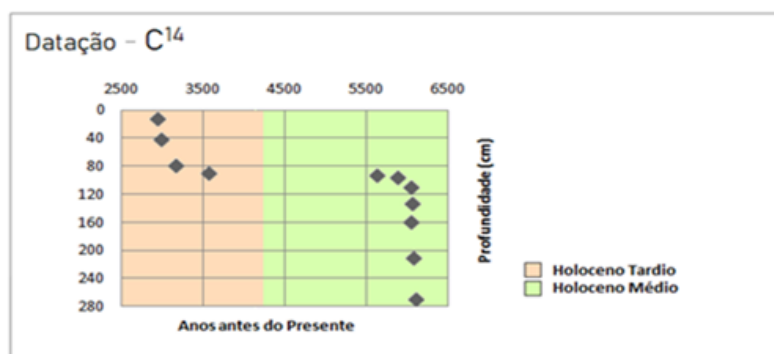
Os resultados do  $C^{14}$  dataram dois períodos sedimentares distintos (Tabela 4.1), o mais antigo entre 6.100 e 5.635 anos atrás, entre 268 cm e 91 cm, com taxas de sedimentação média de 0,37 cm/ano, semelhantes às taxas atuais observadas no estuário do Rio Jaguaribe (DIAS et al., 2016). No período mais recente, entre 3.575 e 2.925 anos atrás, entre 89cm e 10cm, com taxa de sedimentação média de 0,12 cm/ano, semelhante aquelas observadas em ambientes lacustres costeiros do nordeste do Brasil (SIFEDDINE, A. et al., 2003)

**Tabela 4.1 Resultados da datação dos sedimentos por radiocarbono.**

<b>Profundidades:</b>	<b>Anos antes do Presente:</b>
10-11	2935 ± 30
39-40	2980 ± 40
77-78	3170 ± 30
88-89	3575 ± 30
91-92	5635 ± 40
94-95	5885 ± 50
108-109	6050 ± 35
132-133	6065 ± 35
158-159	6050 ± 35
210-211	6085 ± 35
267-268	6105 ± 35

De acordo com WALKER et al., (2012) a Comissão Internacional de Estratigrafia, integrando registros marinhos, terrestres e polares, propõe a fronteira do Holoceno Médio-Tardio para 4.200 anos atrás. De forma que a datação registrada no testemunho CE1308 se encontra em dois períodos geocronológicos distintos, o Holoceno Médio (verde) e o Holoceno Tardio (bege) (Figura 4.1).

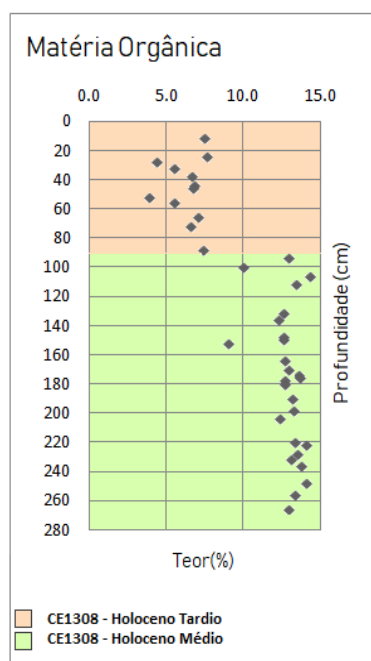
**Figura 4.1 Distribuição vertical dos resultados do radiocarbono no testemunho CE1308 coletado em lago da região de Aracati, Baixo Rio Jaguaribe. Divisão do Holoceno Médio (verde) e Tardio (bege) baseada em WALKER et al., (2012).**



#### 4.2 Matéria Orgânica, $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ e razão C/N

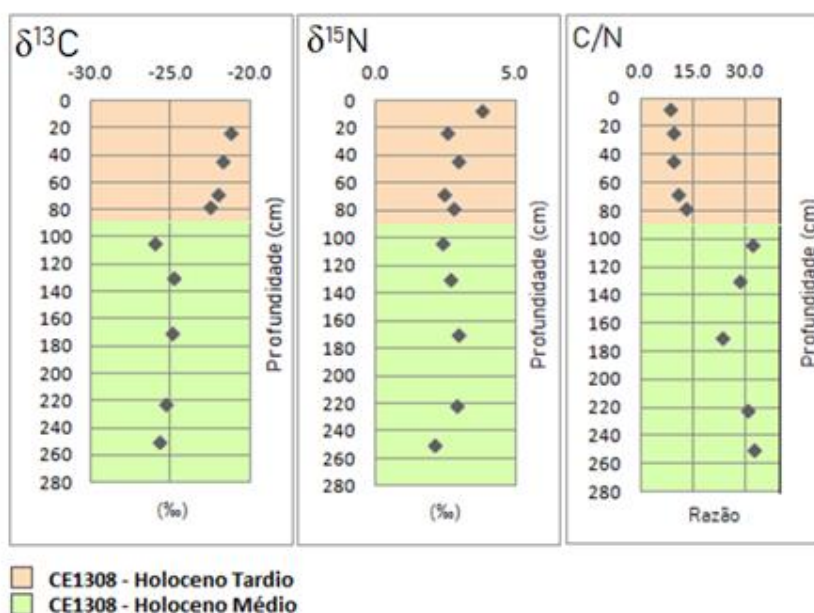
A matéria orgânica indicou dois períodos deposicionais distintos (Figura 4.2). o primeiro entre 90 cm a 266 cm, com uma média de 12%, que corresponde ao Holoceno Médio, conforme a datação realizada, e o segundo entre 10 cm e 88 cm, com uma média de 6%, que corresponde ao Holoceno Tardio. A porcentagem de matéria orgânica pode expressar variações na produtividade primária e/ou variações no carreamento de detritos orgânicos para o ambiente (MEYERS, 1994). As análises isotópicas a seguir possibilitam uma melhor distinção entre esses processos.

**Figura 4.2 Distribuição vertical do teor de matéria orgânica no testemunho CE1308 coletado em lago da região de Aracati, Baixo Rio Jaguaribe. Períodos datados no testemunho CE1308 no Holoceno Médio e Holoceno Tardio.**



A razão C/N calculada a partir da razão isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  (Figura 4.3) é utilizada para caracterizar as fontes da matéria orgânica (MEYERS, 1994). A primeira, entre 266 cm e 100 cm, apresenta uma razão C/N mais elevada, com a média de 30, típica de plantas superiores. A segunda fase, entre 88 cm e 10 cm, apresenta uma razão C/N próxima a 10,3, típica de uma matéria orgânica com origem algal. Ambos os períodos se relacionam com os processos paleoclimatológicos previamente discutidos e acrescentam um interessante caráter local ao estudo, indicando sistemas paleoambientais distintos na região do Baixo Jaguaribe.

**Figura 4.3 Distribuição vertical das concentrações de isótopos estáveis  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  e razão C/N no testemunho CE1308 coletado em lago da região de Aracati, Baixo Rio Jaguaribe. Períodos datados no testemunho CE1308 no Holoceno Médio e Holoceno Tardio.**

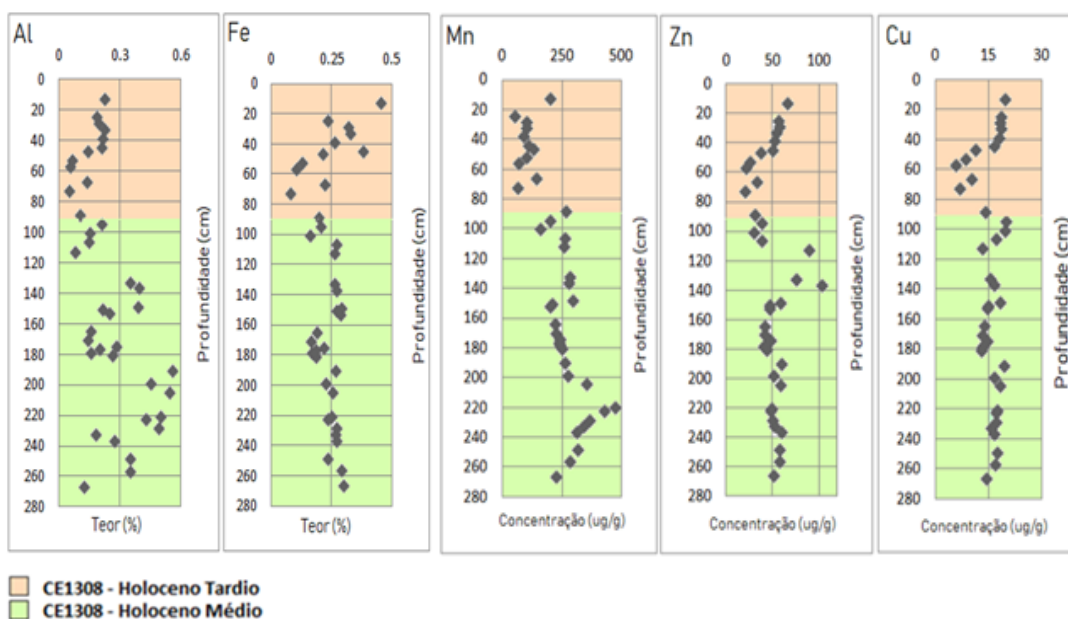


A razão C/N próxima a 30 no Holoceno Médio, entre 266 cm e 100 cm, indica um maior carregamento de matéria orgânica para o ambiente deposicional, que pode ter ocorrido por via pluvial por conta do aumento da precipitação na região durante o Holoceno Médio, ou por via pluvial no caso de alterações paleoambientais no estuário do Rio Jaguaribe (TURCQ, 2016). Já a segunda fase, entre 88 cm e 10 cm, no Holoceno Tardio, indica uma maior produção autóctone e menor carregamento de detritos de plantas superiores, típico de ambientes lacustres (MEYERS, 2003).

### 4.3 Metais-traço

A distribuição e correlação dos metais foi analisada para dois períodos sedimentares distintos (Figura 4.4). Para o Holoceno Médio, nas profundidades de 266 cm a 94 cm, os teores de Al e Fe e Mn variaram entre 0,1% e 0,6%; 0,2% e 0,3%; 159,2 ug/g e 470,0 ug/g, respectivamente. As concentrações dos metais-traços em ug/g variaram de 29,8 a 102,9 para o Zn e de 16,1 a 19,9 para o Cu. Para o Holoceno Tardio, nas profundidades de 12 cm a 88 cm, os teores de Al, Fe e Mn variaram de 0,1% a 0,2 %; 0,1% a 0,5% e 50,8 ug/g a 264,2 ug/g, respectivamente. As concentrações dos metais-traços em ug/g variaram de 20,2 a 102,9 para Zn, e de 5,8 a 19,7 para o Cu.

**Figura 4.4 Distribuição vertical dos teores de alumínio(Al) e ferro(Fe), e das concentrações de manganês(Mn), zinco(Zn) e cobre(Cu) no testemunho CE1308. Períodos datados no testemunho CE1308 no Holoceno Médio e Holoceno Tardio.**



Algumas observações podem ser inferidas a partir das concentrações dos metais ao longo do testemunho. No Holoceno Médio, entre 266 cm e 100 cm, houve um maior teor de alumínio. Isso pode estar relacionado a um aumento no aporte de argilas carreadas ao ambiente deposicional no período climático com maior pluviometria (SIFEDDINE et al., 2003). Uma vez que os teores de Al seriam diretamente relacionados ao carreamento de solos, origem das argilas, que seria maior em períodos de maior pluviosidade (KRAUSKOPF; BIRD, 2003) O ferro e o cobre se mantiveram constantes. O zinco se

manteve constante, exceto entre 140cm a 115cm, onde ele aumentou sua concentração provavelmente por conta de um ambiente mais óxido.

Entre 88 cm e 12 cm, no Holoceno Tardio, houve uma grande redução na concentração do alumínio, indicando um menor carreamento de detritos da bacia de drenagem para o lago. O ferro, o zinco e o cobre aumentaram sua concentração próximos à superfície, possivelmente devido à condições mais óxidas (DAVISON, 1993).

Para o Holoceno Médio, nas profundidades de 94 cm a 266 cm, as correlações não foram significativas (Tabela 4.2), com exceção do Al-Cu (0.54), Al-Mn (0.64) e Fe-Zn (0.50). De acordo com Turq (2016) o ambiente pode ter sido um afluente do Jaguaribe e possuía registros polínicos de *Rhizophora mangle*. As concentrações de metais corroboram com essa interpretação. O sedimento de mangue coberto pela *Rhizophora* caracteriza-se como um ambiente redutor, em decorrência da alta concentração de matéria orgânica e de compostos de enxofre reduzidos (REZENDE et al., 2007). Além disso, a eficiência dos processos de adsorção de Zn, e Cu diminui com o aumento da salinidade, provavelmente como resultado da competição de íons cloreto para a complexação dos metais (CHESTER, 1990).

**Tabela 4.2 Correlação dos metais-traço com a matéria orgânica, para as profundidades de 90cm a 266cm.**

Variable	Correlations (90-266)				
	Al	Cu	Fe	Mn	Zn
Cu	0,54				
Fe	0,32	0,23			
Mn	0,64	0,24	0,31		
Zn	0,25	-0,03	0,50	0,21	
MO	0,13	-0,02	0,06	0,45	0,11

Durante o Holoceno Tardio, nas profundidades de 12 cm a 88 cm (Tabela 4.3), houve altas correlações do Al com o Fe, com o Zn e com o Cu, Al-Fe(0,90), Al-Zn(0,94) e Al-Cu(0,93), indicando a adsorção desses metais nas argilas. Também houve uma alta correlação do cobre e do zinco com o ferro, Fe-Cu(0,85) e Fe-Zn(0,89), e também entre eles Cu-Zn(0,95), indicando que a precipitação de ambos esta relacionada aos oxi-hidróxidos de ferro (KRAUSKOPF; BIRD, 2003).

**Tabela 4.3** Correlação dos metais-traço com a matéria orgânica, para as profundidades de 12cm a 88cm.

Variable	Correlations (12-88)				
	Al	Cu	Fe	Mn	Zn
Cu	0,93				
Fe	0,90	0,85			
Mn	0,09	0,19	0,31		
Zn	0,94	0,95	0,89	0,06	
MO	0,25	0,25	0,24	0,35	0,21

Essas altas correlações indicam um ambiente sedimentar oxidante (KRAUSKOPF; BIRD, 2003). O manganês provavelmente estava em parte complexado à matéria orgânica MO-Mn(0.35). As correlações entre os metais e a matéria orgânica As correlações entre os metais e a matéria orgânica foram mais elevadas que no outro período, mas não ultrapassaram (0.35). Em sedimentos muito salinos tem sido observado que a matéria orgânica possui uma importância secundária na retenção/complexação de metais comparada àquela exercida pelos óxidos de Mn/Fe e aos sulfetos (DE OLIVEIRA; MARINS, 2011), indicando que esse ambiente lacustre poderia possuir algum grau de salinidade.

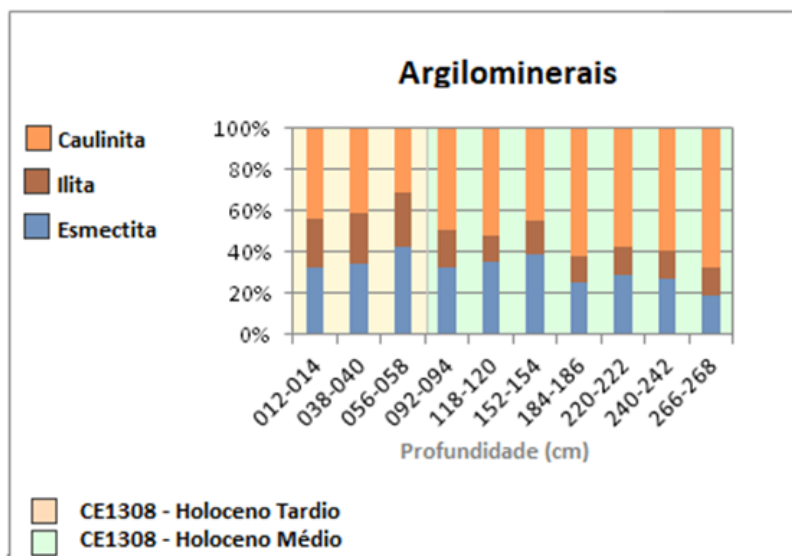
### 4.3. Argilominerais

Durante o Holoceno Médio, entre 92 cm e 268 cm (Figura 4.5), houve uma proeminente deposição de caulinita, 56%, que está diretamente relacionada a uma maior precipitação sobre o Nordeste, com conseqüente aumento no intemperismo químico (DE MELO; MARENGO, 2008). A illita permanece constante por volta de 15% a 10%, enquanto a esmectita aumenta em direção às menores profundidades.

Diversos dados indicam a existência de uma correspondência geral entre a composição das assembleias de argilas estuarinas e a composição mineral de rochas e solos do interior, carregados pelos rios (STUDIES, 1989). Além disso, tributários em áreas tropicais de baixo relevo carregam predominantemente caulinita (HILLIER, 1995). O modelo proposto por Turq (2016) para a região propõe um aumento da concentração de caulinita na foz do rio Jaguaribe, e os resultados do testemunho CE1308, no Holoceno

Médio, corroboram com essa interpretação, indicando um ambiente sob a influência do aporte fluvial de caulinita.

Figura 4.5 Composição mineralógica das argilas do testemunho CE1308.



No período do Holoceno Tardio, de 12 cm a 58 cm, há uma redução na quantidade de caulinita que fica entre 35% e 45%, aumento na esmectita para 30% a 40%, e na ilita para uma média de 20%. Esse período indica uma redução na pluviometria e menor aporte da caulinita no ambiente deposicional, corroborando com a transição de um ambiente estuarino para um ambiente lacustre. Os valores de caulinita continuam altos por conta da sua alta predominância nos solos da região (BERRÊDO et al., 2008). O aumento nas médias de ilita e esmectita sugere uma mudança paleoambiental local na região do Baixo Jaguaribe. Tais diferenças estão ligadas a áreas fonte distintas. A ilita está associada a materiais eólicos, e a esmectita é um mineral típico da planície costeira (RONCO et al., 2001). Além da variação nas fontes das argilas, as suas variações podem refletir as diferenças nos processos diagenéticos atuantes em no sistema lacustre e estuarino.



## 5 CONCLUSÃO

Os resultados do  $C^{14}$  dataram dois períodos sedimentares distintos, o mais antigo entre 6.100 e 5.635 anos atrás, de 268cm a 92cm e o mais recente entre 3.575 e 2.925 anos atrás, de 88cm a 12cm. Ambos os períodos datados se localizam no Holoceno Médio e Tardio, respectivamente, com diferentes processos paleoclimáticos atuando em cada um. Os indicadores biogeoquímicos (Tabela 5.1) sugerem que Baixo Jaguaribe pode ter sido um afluente do rio Jaguaribe ou até parte do canal principal, possuindo características estuarinas entre 6.100 e 5.635 anos atrás. As correlações dos metais-traços com a matéria orgânica corroboram com essa interpretação e dados palinológicos apontam a presença de *Rhizophora mangle*, que poderia gerar um ambiente sub-óxido, separando os metais calcofílicos (Zn, Fe e Cu) dos não calcofílicos (Mn e Al). A matéria orgânica mais elevada e a razão C/N próxima a 30 no Holoceno Médio indicam uma maior deposição de matéria orgânica de origem vascular, que junto aos proeminentes teores de caulinita e altos teores de alumínio, sugerem o carregamento de materiais para o ambiente deposicional devido a processos fluviais.

Tabela 5.1 Médias dos indicadores biogeoquímicos no Holoceno Médio e Tardio.

Indicadores	MO	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	C/N	Esmectita	Ilita	Caulinita
Holoceno Tardio	6.3%	0.2%	0.2%	117.8ug/g	43 ug/g	14 ug/g	10.3	30%	14%	56%
Holoceno Médio	12.8%	0.3%	0.2%	274.8ug/g	53 ug/g	16 ug/g	29.5	36%	25%	39%

No período subsequente, datado entre 3.575 e 2.925 anos atrás, nas profundidades de 12 cm a 88 cm, os indicadores biogeoquímicos sugerem um ambiente lacustre óxido com certo grau de salinidade. A razão C/N próxima a 10,3 indicam uma produção primária autóctone de origem algal. Houve altas correlações do alumínio com o ferro, com o zinco e com o cobre, indicando a adsorção desses metais nas argilas e uma provável fonte continental desses metais. Também houve uma alta correlação do cobre e do zinco com o ferro, indicando que a precipitação de ambos está relacionada aos oxi-hidróxidos de ferro. As mudanças nos teores de argilominerais indica uma alteração em suas fontes, havendo uma maior contribuição de materiais eólicos e de planície costeira. O aumento no teor de ilita sugere um certo grau de salinidade. As variações nos teores de argila indicam processos digenéticos distintos entre o ambiente lacustre no Holoceno Tardio e ambiente estuarino no Holoceno Médio.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT-NBR ISSO/IEC 17025. **Requisitos técnicos e gerenciais para acreditação de laboratórios de ensaio e calibração**. Brasília, 2005.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**, Wiley & Sons: New York, 1995.

AMBRIZZI, T.; SOUZA, E. B.; PULWARTY, R. S. The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall. **The Hadley circulation: Present, past and future**, p. 203–235, 2004.

ANJOS, J.A.S.A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos. Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Leste. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília, 2006.

ARAGÃO, J. O. R. O impacto do ENSO e do dipolo do Atlântico no nordeste do Brasil. **Bulletin Institut Français Études Andines**, v.27 n.3, p.839-844, 1998.

BERRÊDO, J. F. et al. Mineralogia e geoquímica de sedimentos de manguezais da costa amazônica: o exemplo do estuário do rio Marapanim (Pará). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 24–35, 2008.

BJORCK, S., WOHLFARTH, B. C<sup>14</sup> Chronostratigraphic Techniques in Paleolimnology, **Tracking Environmental Changes Using Lake Sediments**. Kluwer, Dordrecht, pp. 205 – 245, 2001.

OLIVEIRA, R.C.B. **Investigação do comportamento geoquímico de metais-traços em solos e sedimentos da bacia inferior do rio Jaguaribe, nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) - Programa De Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar-Labomar, Universidade Federal do

Ceará, Fortaleza, 2012.

CHAMLEY, H. Clay Formation Through Weathering. **Clay Sedimentology**, p. 21–50, 1989.

CRUZ, F. W. et al. Orbitally driven east-west antiphasing of South American precipitation. **Nature Geoscience**, v. 2, n. 3, p. 210–214, 2009.

CRYSTAL, L. et al. Variability of El Nino/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. **Nature**, v. 420, n. November, 2002.

DAVISON, W. Iron and manganese in lakes. **Earth Science Reviews**, v. 34, n. 2, p. 119–163, 1993.

DE MELO, M. L. D.; MARENGO, J. A. Simulações Do Clima Do Holoceno Médio Na América Do Sul Com O Modelo De Circulação Geral Da Atmosfera Do Cptec. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 191–205, 2008.

DE OLIVEIRA, R. C. B.; MARINS, R. V. Dinâmica de metais-traço em solo e ambiente sedimentar estuarino como um fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático: Revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 2, p. 88–102, 2011.

DIAS, F. J. S.; CASTRO, B. M.; LACERDA, L. D.; MIRANDA, L. B. MARINS, R. V. Physical characteristics and discharges of suspended particulate matter at the continent-ocean interface in an estuary located in a semiarid region in northeastern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 180, p. 258-274, 2016.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Interciência, Rio de Janeiro, 1988.

EVANKO, C.R.; DZOMBAK, D.A. Remediation of metals-contaminated soils and groundwater. 1997. 53p. **Gwrtac Series** - Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1997.

FEREIRA, A. G.; MELO, N. G. D. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a

região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 15–28, 2005.

HAUG, G. H. et al. Southward Migration of the Intertropical Convergence Zone Through the Holocene. **Science**, v. 293, n. August, p. 1304–1308, 2001.

HILLIER, S. Erosion, Sedimentation and Sedimentary Origin of Clays. **Origin and Mineralogy of Clays**, p. 162–219, 1995.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe; Diretrizes Gerais para a Ordenação Territorial. Ministério de planejamento e Orçamento. Salvador, 1999.

JEFFERY, G.H.; BASSETT, J.; MENDHAM, J.; DENNEY, R.C. Vogel: Análise química quantitativa. 5 ed. Tradução de Horácio Macedo. Rio de Janeiro: **Guanabara Koogan S/A**, 1992.

KRAUSKOPF, K. B.; BIRD, D. K. **Introduction to geochemistry**. New York: McGraw-Hill Custom Pub, 2003.

LAST, W. M. Mineralogical Analysis of Lake Sediments. **Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Geochemical Methods**. Dordrecht: Springer, Netherlands, 2001.

MARENGO, J. A. Água e Mudanças Climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 83–96, 2008.

MARTIN, L. et al. Southern oscillation signal in south american palaeoclimatic data of the last 7000 years, **Quaternary Research**, v. 39, p. 338-346, 1993.

MAYEWSKI, P. A. et al. Holocene climate variability, **Quaternary Research**, v. 62, p. 243–255, 2004.

MCBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University

Press, 1994.

MERLIS, T. M. et al. The tropical precipitation response to orbital precession. **Journal of Climate**, v. 26, n. 6, p. 2010–2021, 2013.

MEYERS, P.A. Application of organic geochemistry to paleolimnological reconstruction: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry**, v. 34, p. 261–289, 2003.

MEYERS, P. A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chem. Geology**, v. 114, p. 289–302, 1994.

MEYERS, P. A. Organic Geochemical Proxies of Paleoceanography, Paleolimnologic, and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**, 1997.

NEMECZ, E. **Clay minerals**. Akadémiai Kiado, Budapest, 1981.

PAULO, V. DE. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 58, p. 575–596, 2004.

PRADO, L. F. et al. A mid-Holocene climate reconstruction for eastern South America. **Climate of the Past**, v. 9, n. 5, p. 2117–2133, 2013.

REZENDE, C. et al. Dial organic carbon fluctuations in a mangrove tidal creek in Sepetiba bay, Southeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, n. 4, p. 673–680, 2007.

RONCO, A.; CAMILIÓN, C.; MANASSERO, M. Geochemistry of heavy metals in bottom sediments from streams of the western coast of the rio de la Plata estuary, Argentina. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 23, p. 89-103, 2001.

SIFEDDINE, A. et al. A 21 000 cal years paleoclimatic record from Caçó Lake, northern Brazil: Evidence from sedimentary and pollen analyses. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 189, n. 1–2, p. 25–34, 2003.

SIMÕES, E. C. **Diagnóstico Ambiental em Manguezais dos Complexos Estuarinos da Baixada Santista e de Cananéia – São Paulo, no Tocante a Metais e Compostos organoclorados.** 183 f. Dissertação de Mestrado em Ciências – Química Analítica. Instituto de Química São Carlos, Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2007.

SINGER, A. The paleoclimatic interpretation of clay minerals in sediments - a review. **Earth Science Reviews**, v. 21, n. 4, p. 251–293, 1984.

STUDIES, F. Estuaries and Deltas. **The First Global Integrated Marine Assessment**, n. 1960, p. 839–852, 1989.

STUIVER, M.; REIMER, P. J. Extended 14C data base and revised CALIB 3.014C age calibration program. **Radiocarbon**, v. 35, n. 1, p. 215–230, 1993.

TURCQ, B. Impactos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas do Nordeste Brasileiro: Estudos na Bacia do Jaguaribe e nos ambientes costeiros associados. **Relatório Técnico**. 2016.

VIANA, J. C. C. et al. A late Holocene paleoclimate reconstruction from Boqueirão Lake sediments, northeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415, p. 117–126, 2014.

WALKER, M. J. C. et al. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: A Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). **Journal of Quaternary Science**, v. 27, n. 7, p. 649–659, 2012.

WANNER, H. et al. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. **Quaternary Science Reviews**, v. 27, n. 19–20, p. 1791–1828, 2008.

YOUNG, L. B.; HARVEY, H. H. The Relative Importance of Manganese and Iron-Oxides and Organic-Matter in the Sorption of Trace-Metals By Surficial Lake-Sediments. **Geochimica Acta**, v. 56, p. 1175–1186, 1992.