

# Aplicações de isótopos de oxigênio e carbono na reconstrução paleoambiental do interior da Lagoa dos Patos, RS, Brasil: um estudo de caso

## *Applications of oxygen and carbon isotopes in the paleoenvironmental reconstruction of the interior of Lagoa dos Patos, RS, Brazil: a case study*

Carla Ennes de Barros<sup>ab</sup>, Ricardo Baitelli<sup>ac</sup>, Daniella de Souza Carvalho<sup>ad</sup>, Beatriz Appel Dehnhardt<sup>ae</sup>, Crysthian Zorzo Bernardi<sup>af</sup>, Clarice Dehnhardt Becker<sup>ag</sup>, André Abreu Martins<sup>ah</sup>, Jairo Savian<sup>ai</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul

<sup>b</sup>carla.barros@ufrgs.br, <sup>c</sup>baitelli@ufrgs.br, <sup>d</sup>daniellasc.engenharia@gmail.com, <sup>e</sup>beatriz.dehnhardt@ufrgs.br, <sup>f</sup>crysthianzb@gmail.com, <sup>g</sup>claricedehnhardt@gmail.com, <sup>h</sup>andreaabreumartins@yahoo.com.br, <sup>i</sup>jairosavian@gmail.com

### Resumo

O trabalho apresenta uma reconstrução paleoambiental, a partir de um testemunho extraído da célula sul da Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul – Brasil), com base em análises de isótopos estáveis de carbono e de oxigênio, realizadas em conchas de moluscos. O testemunho está localizado entre a saída do rio Camaquã e o município de Bojuru. Três zonas distintas foram observadas: uma zona inferior marinha composta pelos moluscos *Carycorbula tryoni*, *Acteocina bidentata* e *Tawera gayi*, mostrando um comportamento espelhado com relação à profundidade entre os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$ , uma temperatura média de 17°C e a idade do  $^{14}\text{C}$  é de 3876 – 4004 AP a 2,5 m. Uma zona de transição, onde não são encontrados moluscos fósseis, e uma zona superior mixohalina, com o molusco *Erodona mactroides*, de comportamento concordante entre os valores negativos de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$ . Nesta zona, a temperatura aumenta em 5°C, chegando a 22°C. A 1,2m, a idade radiocarbono é de 3.054 ± 27 anos AP. A 0,3m de profundidade, o comportamento do  $\delta^{13}\text{C}$  e do  $\delta^{18}\text{O}$  passa a ser estável, refletindo o provável fechamento da Lagoa dos Patos (2.080 AP), pertencente a Série Meghalayan da parte Superior do Holoceno. Este estudo corrobora com a variação do nível do mar e com a história evolutiva da formação de ilhas barreira no litoral sul-brasileiro em função da presença de espécies marinhas na base do testemunho e de espécies mixohalinas no topo.

**Palavras-chave:** moluscos; quaternário; zona costeira.

### Abstract

The paper presents a paleoenvironmental reconstruction, based on a drill core in the southern cell of Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul - Brazil) located between the Camaquã river outlet and the city of Bojuru, based on stable carbon and oxygen isotope analysis, carried out in mollusk shells. Three distinct zones were observed in the studied core. Lower marine Zone composed by the mollusks *Carycorbula tryoni*, *Acteocina bidentata* and *Tawera gayi*, showing a mirrored behavior between the values of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  with respect to depth and an average temperature of 17°C. A Transition Zone where no fossil mollusks are found. It is an upper Zone mixohalina, with the mollusk *Erodona mactroides*, whose behavior is consistent between the negative values of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ . In this zone, the temperature increases by 5°C, reaching 22°C. At 1.2m the radiocarbon age is 3876 – 4004 BP. At 0.3m, the behavior of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  becomes stable, reflecting the probable closure of Patos Lagoon (2,080 AP), belonging to the Meghalayan Upper Holocene Series. This study corroborates the sea level variation and the evolutionary history of barrier island formation in the southern Brazilian coast due to the presence of marine species at bottom and mixohaline species at the top of the core.

**Keywords:** mollusks; quaternary; coastal zone.

## 1. Introdução

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul vem sendo estudada há décadas quanto sua origem e evolução. Este trabalho estuda, a partir de análises isotópicas em materiais carbonáticos de conchas de moluscos, a paleoevolução ambiental e climática de um testemunho no interior da Lagoa dos Patos.

Análises isotópicas de carbono e de oxigênio podem identificar ambientes e variações de temperatura que ocorreram no passado e as informações adquiridas através desses dados permitem a reconstrução paleoambiental de uma determinada região (Cerling & Hay 1986). Para isso, é importante obter registros isotópicos de alta qualidade e interpretar os dados com precisão.

Os moluscos são encontrados nos principais ambientes: estuários, água doce, salobra e marinha. O estudo de conchas, a parte mais resistente do organismo, é amplamente utilizado devido à facilidade de ser detectado no ambiente, devido a sua mobilidade limitada quando adultos e ao crescimento da superposição em camadas. Estudos sobre assembleias de moluscos fornecem informações sobre mudanças no nível do mar, clima, padrões de uso da terra, alterações antropogênicas, salinidade além de outros parâmetros do habitat bentônico e química ambiental que também podem contribuir para o desenvolvimento do modelo de idade (Leng & Lewis 2016, Wingard & Surge 2017).

O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  está relacionado ao ciclo do carbono no local de coleta da amostra e quanto maior sua variação, maior a complexidade, isto se deve a biomineralização que ocorre através da assimilação de carbono inorgânico dissolvido. A mudança de  $\delta^{13}\text{C}$  está intimamente ligada à mistura de água doce e água salgada (Keith et al. 1964, Silva et al. 1979, Andreasson et al. 1999, Guo & Chafetz 2014). A variação é mínima ou inexistente em amostras oceânicas que não estejam próximas de desembocaduras fluviais e fossas hidrotermais.

O valor de  $\delta^{18}\text{O}$  está relacionado à evaporação da água do oceano que contém tanto o  $\text{O}^{16}$  (mais leve) como o  $\text{O}^{18}$  (mais pesado). O  $\text{O}^{16}$  por ser mais leve, evapora com mais facilidade do que o  $\text{O}^{18}$ , com isso as nuvens formadas, a partir desta evaporação e a neve que por ventura venha a cair no continente, ficarão enriquecidos de  $\text{O}^{16}$ , enquanto que no oceano predominará o  $\text{O}^{18}$ . No momento em que as conchas de carbonato se formam, sua razão isotópica com relação ao oxigênio está em equilíbrio com a água do mar. Mas quando ocorre o predomínio de  $\text{O}^{18}$ , nestas conchas, significa que se tem mais gelo sobre o continente, enquanto que o predomínio de  $\text{O}^{16}$  indica menos gelo sobre o continente (Baitelli 2012).

As conchas de moluscos têm sido estudadas na Lagoa dos Patos e áreas adjacentes desde há muito tempo. O primeiro estudo foi publicado por Ihering (1885), sobre aplicação stratigráfica e, posteriormente, esta pesquisa foi refinada, por Closs & Forti (1971) e Forti-Esteves (1986). Estudos taxonômicos e paleoambientais sobre moluscos também foram publicados por Godolphim et al. (1989), Buchmann (2002), Wiggers (2003), Pimpão (2004), Lopes & Simone (2012) e Oliveira (2012). As conchas de moluscos também foram utilizadas para datação por radiocarbono por Caron et al. (2007a,b), Lima (2008), Bortolin (2011), Baitelli (2012) e Lima et al. (2013). Mais recentemente, Ritter (2010a,b), Ritter & Erthal (2011), Erthal et al. (2011) e Ritter et al. (2013), realizaram análises de assinaturas tafonômicas. Neste trabalho, o grupo é aplicado em estudos isotópicos. Devido ao pouco conhecimento dos grupos biogênicos em testemunhos nessa região, o estudo com fósseis representa uma oportunidade inédita de melhorar nossa compreensão sobre as mudanças paleoambientais ocorridas na Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

O estudo da composição isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e de oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) foi desenvolvido em conchas de moluscos gastrópodes e bivalves, a fim de reconstruir o paleoambiente, através testemunho Pt-07, na Lagoa dos Patos no Holoceno.

## 2. Área de estudo

A área de estudo localiza-se na Província Costeira do Rio Grande do Sul (Villwock 1972, 1984, Urien & Martins 1978, Villwock et al. 1986, 1994, Villwock & Tomazelli 1995, 1998). Esta província compreende os depósitos sedimentares da Bacia de Pelotas e seu embasamento adjacente (Villwock 1972, 1984). Villwock & Tomazelli (1995) dividiram o estado do Rio Grande do Sul em dois domínios geomorfológicos: as terras altas (platô sul-riograndense, depressão central e platô de Araucárias) e as terras baixas (planície costeira e plataforma continental). A Bacia de Pelotas é uma bacia marginal situada sobre o embasamento pré-cambriano e as sequências sedimentares vulcânicas da bacia do Paraná. Segundo Gamboa & Rabinowitz (1981), abrange aproximadamente 210.000km<sup>2</sup> e se originou dos movimentos tectônicos da abertura do Atlântico Sul durante o Cretáceo. É limitado ao norte pelo Alto de Florianópolis e ao sul pelo Cabo Polônio (Urien & Martins 1978). O embasamento da Bacia de Pelotas é composto por rochas do Escudo Sul-riograndense e Escudo Uruguaio, pertencentes à Província da Mantiqueira (Almeida et al. 1981), bem como das rochas vulcânicas-sedimentares da Bacia do Paraná, que cortam a região oeste da bacia.

Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Villwock & Tomazelli (1995) descreveram dois sistemas deposicionais: (1) um sistema de delta-leque que corresponde à transição entre as Terras Altas do embasamento da Bacia de Pelotas e os sistemas de barreiras arenosas; (2) um sistema deposicional do tipo barreira de lagoa (Figura 1). Este último é o mais representativo para o presente trabalho. Villwock & Tomazelli (1995), Tomazelli et al. (2000) e Dillenburg et al. (2000, 2004, 2006, 2009, 2013) identificaram quatro sistemas deposicionais do tipo barreira, três delas no Pleistoceno (barreiras I, II e III) e uma no Holoceno (barreira IV). Segundo esses autores, a formação dos sistemas de barreira arenosa resultou de oscilações no nível do mar de alta frequência que ocorreram durante o Quaternário e estão de acordo com as curvas globais. As barreiras do Pleistoceno são compostas de fácies de quartzo-feldspato finas a médias, com grãos arredondados imersos na matriz argila-silte. As lagoas dos Patos e Mirim (Tomazelli et al. 2000) foram estabelecidas durante o último sistema Pleistoceno, que corresponde à Barreira III, área estudada neste trabalho. Os sedimentos dessa barreira são fácies arenosas de praia de origem marinha rasa, cobertas por dunas eólicas.

A Lagoa dos Patos (Figura 1) é a característica morfológica mais representativa da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. O eixo principal da lagoa tem cerca de 180km na direção NE-SW, incluindo uma região

estuarina de aproximadamente 60km alinhada à costa entre 30°30'S e 32°12'S, perto de Rio Grande, onde se conecta ao Oceano Atlântico (Toldo Jr. 1994, Asmus 1998, Calliari et al. 2009). Apresenta 240km de comprimento, largura média de 40km, profundidade média de 6m e superfície de aproximadamente 10.000km<sup>2</sup> (Baitelli et al. 2007). Segundo Asmus (1998), o corpo de água central da Lagoa dos Patos é

composto por quatro células elípticas que representam aproximadamente 80% da área da lagoa e suas margens são dominadas por pântanos de água doce e praias arenosas. A porção estuarina na parte sul da lagoa possui 971km<sup>2</sup> (10% da área da lagoa), onde ocorre o fluxo de águas do Oceano Atlântico através do canal de Rio Grande.

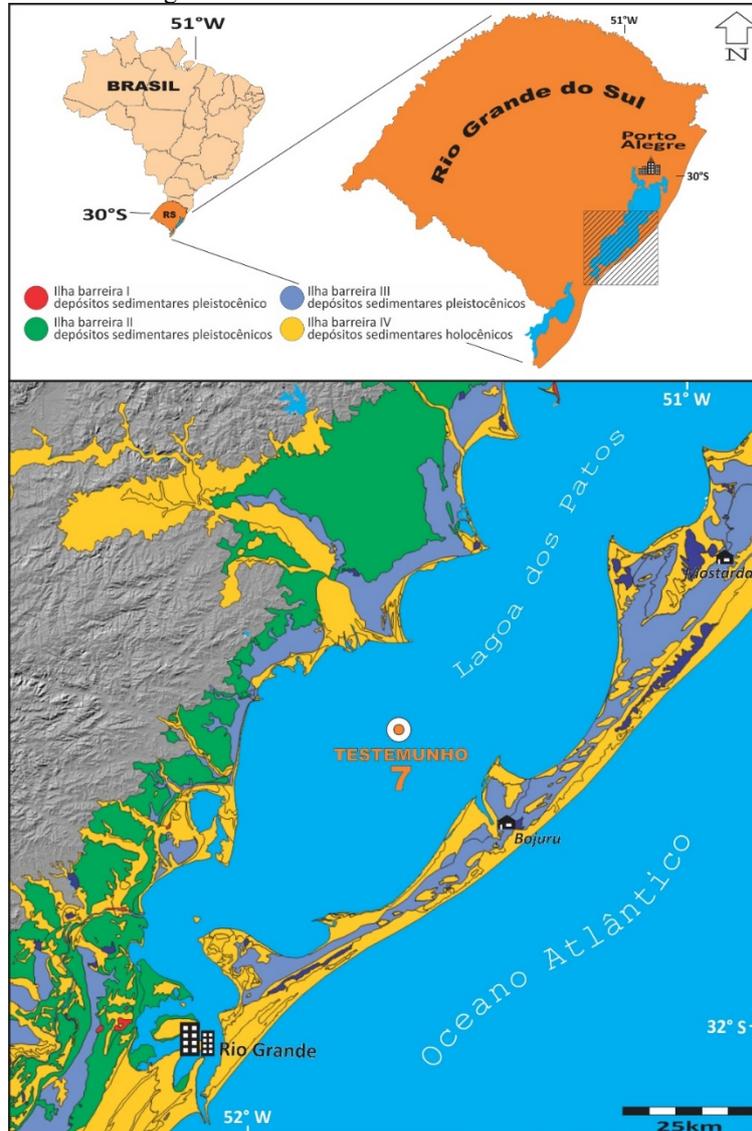


Figura 1: Área de estudo na Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, mostrando a localização do testemunho Pt-07 e das quatro barreiras quaternárias.

### 3. Materiais e métodos

O testemunho Pt-07 está localizado perto da cidade de Bojuru, na parte imersa da Lagoa dos Patos, com coordenadas 31°26'52.16125"S e 51°40'10.45532"W. Foi coletado em lâmina d'água de 6,4m através de testemunhagem por gravidade. O comprimento recuperado foi de 3,55m e subamostras foram coletadas em intervalos de 10cm, resultando em um total de 34 amostras. Cerca de 25g de sedimentos foram retiradas em cada amostra do testemunho. Os sedimentos foram embebidos em cápsulas de porcelana e aquecidos a 60°C sucessivamente até a completa desagregação da amostra

e lavados através de uma malha de 0,062mm. Os espécimes foram retirados manualmente de amostras secas e armazenados em lâminas micropaleontológicas para classificação sob estereomicroscópio. As conchas de moluscos estão bem preservadas e foram identificadas ao nível das espécies sempre que possível, e a identificação foi baseada na literatura malacológica disponível (Rios 2009). Os dados ecológicos sobre as espécies foram baseados no comportamento das espécies atuais em publicações de Closs & Forti (1971), Forti-Estevés (1974), Veitenheimer-Mendes (1993), Silva (2003) e Rios (2009). As fotos das conchas de molusco foram tiradas com uma câmera digital e, na

seqüência, as conchas foram moídas por táxon e por intervalo para serem analisadas no laboratório de análises isotópicas. Estudos isotópicos de conchas de carbonato não podem escapar da questão de uma possível alteração diagenética que possa potencialmente modificar suas composições primitivas (Fourel et al. 2015). Razões estáveis de isótopos de carbono e de oxigênio foram medidas no Laboratório de Geologia Isotópica (LGI), Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) usando um espectrômetro de massa Delta V Advantage acoplado a um Dispositivo GasBench II. As amostras analisadas são compostas por 25 intervalos do testemunho, sendo que cada intervalo contendo os diferentes espécimes de conchas de moluscos identificados, totalizando um conjunto de 76 amostras. Este conjunto foi analisado contra 16 amostras de 4 padrões diferentes, 3 internacionais, NBS-18, IAEA CO8 e IAEA CO1 e 1 interno, REI. A precisão da análise foi avaliada por medições repetidas dos quatro padrões e foi melhor que 0,1‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  e 0,2‰ para  $\delta^{18}\text{O}$  ( $2\sigma$ ,  $n = 60$ ). A precisão do método foi avaliada por múltiplas medições do material de referência de laboratório LGI1 (mármore) e foi de 0,08‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  e 0,09‰ para  $\delta^{18}\text{O}$  ( $2\sigma$ ,  $n = 52$ ). Todos os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{18}\text{O}$  são relatados por mil em relação ao VPDB.

A determinação do tamanho de grão dos sedimentos do testemunho Pt-07 foi feita pelo analisador de distribuição de tamanho de partículas do equipamento de espalhamento a laser LA-950V2 Horiba, do Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO/UFRGS). Os sedimentos são classificados de acordo com Shepard (1954) como: areia, silte arenoso, areia argilosa e argila.

Os dados de temperatura foram obtidos através da fórmula proposta por Horibe & Oba (1972) in Faure (1977): para o organismo calcário,  $T^{\circ}\text{C} = 17,04 - 4,34$

$(\delta\text{c} - \delta\text{w}) + 0,16 (\delta\text{c} - \delta\text{w})^2$ , segundo Faure (1977): “ $\delta\text{c}$  é o  $\delta^{18}\text{O}$  corrigido de  $\text{CO}_2$  obtido do carbonato por reação com ácido fosfórico a  $25^{\circ}\text{C}$  em relação ao gás padrão de trabalho do espectrômetro de massa,  $\delta\text{w}$  é o  $\delta^{18}\text{O}$  corrigido de  $\text{CO}_2$  equilibrado isotopicamente a  $25^{\circ}\text{C}$  com a água da qual o carbonato foi precipitado medido contra o mesmo espectrômetro de massa gás padrão de trabalho usado para a análise de carbonato”. Estes cálculos foram efetuados para todas as 25 amostras que apresentaram conchas de moluscos. Os valores obtidos pelos dados de  $\delta^{13}\text{C}$ , de  $\delta^{18}\text{O}$  e de temperatura foram aplicados em tabelas e gráficos para comparar informações através do programa Microsoft Excel<sup>®</sup>.

As datações por radiocarbono foram realizadas no Laboratório de Radiocarbono (LAC) da Universidade Federal Fluminense (UFF), a partir da técnica de Espectrometria de Massa com Aceleradores (AMS), com resultado de  $3.054 \text{ AP} \pm 27$  (1,2 m), corrigidos para  $3205 - 3355 \text{ AP}$  e  $3461 \pm 26$  (2,5 m) corrigidos para  $3876 - 4004 \text{ AP}$ , conforme Tabela 1.

#### 4. Resultados

A identificação taxonômica do testemunho Pt-07 permitiu o reconhecimento de seis espécies de conchas de moluscos: *Erodona mactroides*, *Caryocorbula tryoni*, *Heleobia australis*, *Tawera gayi*, *Acteocina bidentata* e *Heleobia* sp. (Figura 2). As espécies foram separadas de acordo com suas características ecológicas em ambiente marinho raso e mixohalino (Closs & Forti 1971, Forti-Esteves 1974, Veitenheimer-Mendes 1993, Silva 2003 e Rios 2009). *Tawera gayi*, *A. bidentata* e *C. tryoni* caracterizam um ambiente marinho raso da base até o meio do testemunho (3,5m a 1,50m). *Erodona mactroides* caracteriza um ambiente mixohalino do meio ao topo do testemunho (1,50m a 0,2m) (Tabela 2).

Tabela 1: Idades AMS do testemunho Pt – 07 analisados no presente estudo. Informações sobre número das amostras, idade convencional ( $^{14}\text{C}$  idade AP) e idades calibradas (idades cal AP) e o material usado nas datações.

Prof. (m)	Idade	Idades calibradas	$\delta_2$	Laboratório	Material
1,20	3054 AP $\pm$ 27	3205 - 3355	0,95	LAC/UFF	<i>Erodona mactroides</i>
2,50	3461 AP $\pm$ 26	3876 - 4004	1,0	LAC/UFF	<i>Tawera gayi</i> , <i>Corbula</i> sp., <i>Heleobia australis</i> , <i>Heleobia</i> sp.

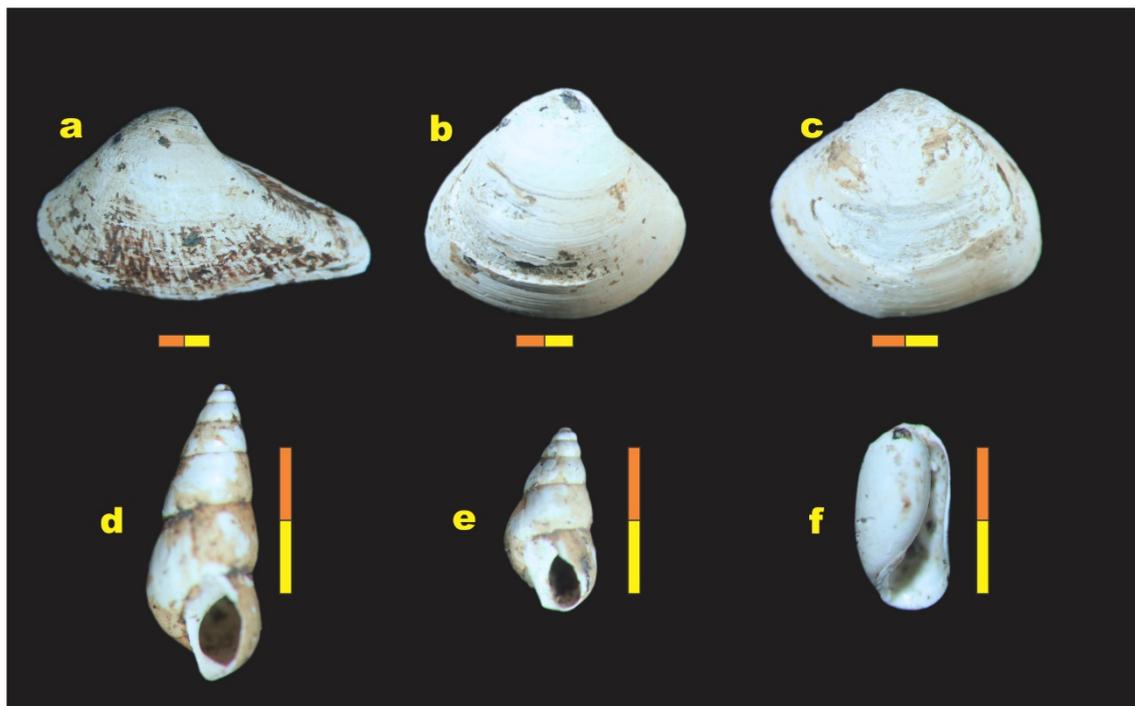


Figura 2: Espécies de conchas de moluscos registradas no testemunho Pt-07. (a) *Erodona mactroides*, (b) *Caryocorbula tryoni*, (c) *Tawera gayi*, (d) *Heleobia australis*, (e) *Heleobia* sp., (f) *Acteocina bidentata*. Escala das barras = 2 mm.

Tabela 2: Dados ecológicos das espécies estudadas do testemunho Pt-07. (1) Rios (2009), (2) Silva (2003).

	Espécies	Habitat	Profundidade	Sedimentos
<b>Gastrópodes</b>	<i>Acteocina bidentata</i> (Orbigny, 1811) (1)	marinho (1)	até 360m (1)	areno lodoso (1)
	<i>Heleobia australis</i> (Orbigny, 1835) (2)	mixohalino (2)	0m – 30m (2)	areno lodoso ou algas (2)
<b>Bivalves</b>	<i>Tawera gayi</i> (Hupe, 1851) (1)	marinho (1)	25m – 70m (1)	areia lamosa (1)
	<i>Caryocorbula tryoni</i> (E.A. Smith, 1880) (1)	marinho (1)	36m – 72m (1)	areia e conchas (1)
	<i>Erodona mactroides</i> (Bosc, 1802) (2)	mixohalino (1)	0m – 10m (1)	lamoso (1)

As espécies *H. australis* e *Heleobia* sp. estão distribuídas por todo o testemunho, exibem um comportamento semelhante e são adaptáveis tanto em ambientes marinho raso como mixohalino. O comportamento isotópico dessas espécies também coincide com o das espécies do ambiente marinho, embora sejam consideradas espécies mixohalinas (Rios 2009). Por esse motivo, neste trabalho, essas duas espécies serão plotadas nos gráficos, para fins de comparação, como uma única espécie.

Ocorrem dois intervalos onde não são observadas conchas de moluscos, um na base (2,9–3,5m) e o outro entre as zonas ZMR e ZMH de 30cm (1,5–1,8m).

Neste estudo, o valor de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$  foi obtido a partir das análises das conchas de moluscos encontradas no testemunho (Tabela 2). A espécie mixohalina *E. mactroides* apresenta os valores isotópicos de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$  mais baixos, variando de -1,61‰ a -0,12‰ e de -1,12‰ a -0,19‰, respectivamente. As espécies

marinhas apresentam valores positivos para  $\delta^{13}\text{C}$ , variando de 0,07‰ (*A. bidentata*) a 0,84‰ (*T. gayi*), enquanto os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  variam de -0,61‰ (*C. tryoni*) e de 0,74‰ (*T. gayi*).

A análise gráfica comparativa dos isótopos de oxigênio e de carbono *versus* profundidade (metros) para cada espécie (Figura 3) mostra, em geral, um comportamento concordante de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$  para *E. mactroides*, enquanto para as espécies marinhas ocorre um comportamento espelhado.

O resultado obtido no cálculo das temperaturas pela fórmula proposta por Horibe & Oba (1972) in Faure (1977), está entre 14°C e 24°C, conforme representado na Tabela 2, sendo a temperatura média da ZMR de 17°C e da ZMH de 22°C.

A classificação dos sedimentos varia de areia a silte. A fração argila é observada apenas na zona ZMR (Figura 3).

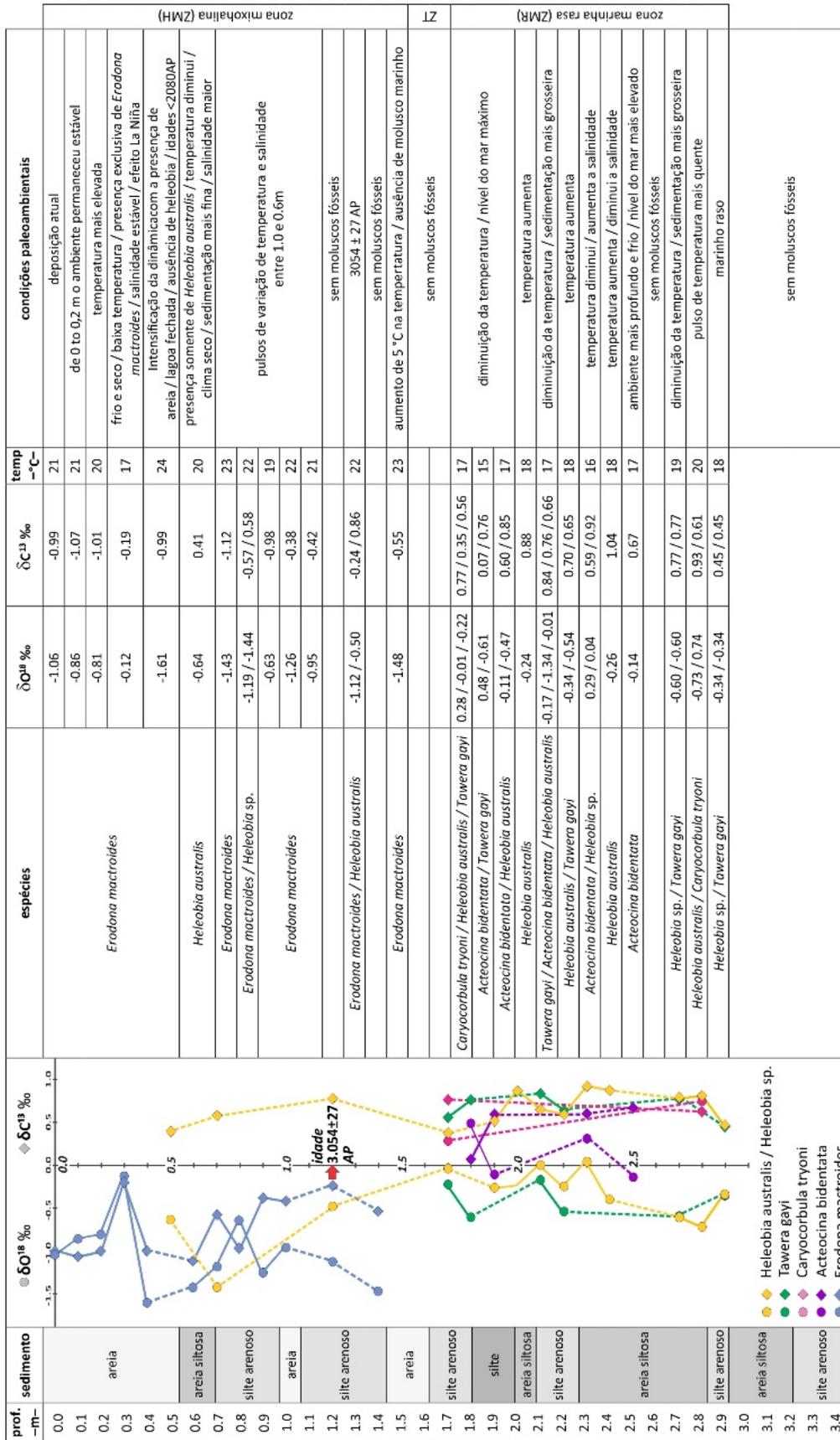


Figura 3: Valores de δ<sup>18</sup>O e de δ<sup>13</sup>C obtidos das conchas de moluscos (por espécie) que ocorrem na Lagoa dos Patos no testemunho Pt-07 com a comparação da profundidade, do sedimento, da temperatura e dos valores contínuos plotados de δ<sup>18</sup>O e de δ<sup>13</sup>C.

## 5. Discussão

Os isótopos de oxigênio, em uma escala de tempo curta (<1000 anos), variam de 1-2‰ e são controlados por ciclos climáticos globais (Zhao et al. 2017). Diferenças isotópicas relacionadas a ciclos orogênicos e oscilações climáticas são caracterizadas por mudanças bruscas dos isótopos, associados a transições de um ciclo orogênico para outro (Ivlev 2017). Estudos com conchas de moluscos fósseis mostram que esses organismos podem elucidar condições paleoambientais, por representarem seres sensíveis a mudanças de umidade e de temperatura (Yanes et al. 2013).

A combinação dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$  das conchas de moluscos contribui para a reconstrução do paleoambiente (Keith et al. 1964, Silva et al. 1979, Andreasson et al. 1999, Apolinarska 2009, Yanes et al. 2013, Leng & Lewis 2016, Wingard & Surge 2017, Salvador et al. 2018, Reynolds et al. 2019). As variações dos isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{18}\text{O}$  refletem as condições no momento da precipitação do carbonato. Isso é observado pela salinidade, produtividade, temperatura ou períodos de frio (Keith et al. 1964, Talbot 1990, Wendler et al. 2013, Salvador et al. 2018), ou pela composição e pH da água do mar, concentração de íons carbonato e atividade fotossintética de algas (Hoefs 2004) ou descarga líquida e correntes costeiras (Silva et al. 1979).

O deslocamento isotópico de uma espécie em relação ao equilíbrio ou em relação às outras espécies é constante ao longo do tempo (Shackleton 1974, Bhaumik et al. 2017). A mudança nos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de uma dada espécie, de um intervalo para o outro, indica uma variação de temperatura nesse ambiente (Apolinarska 2009). Quando o valor de  $\delta^{18}\text{O}$  diminui de um intervalo para outro, indica um ambiente mais quente que o anterior. As fases regressivas recebem maior influência continental e os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  são mais negativos, enquanto que, em uma fase transgressiva, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  são menos negativos ou positivos. Assim, a composição isotópica das amostras marinhas antigas é outro indicador das variações do nível do mar que ocorreram durante o Quaternário (Silva et al. 1979).

Pode-se observar que ao longo de quase todo o testemunho existe a presença de táxons mixohalinos (*H. australis* e *Heleobia* sp.) associados a táxons marinhos rasos e mixohalinos, isso pode ser um indicativo de eventos de sobrelevagem ou de tempestades (Angulo et al. 2006).

Uma separação distinta entre as amostras das zonas ZMR e ZMH é observada nos dados isotópicos plotados ao longo da amostra (Tabela 2). A ZMR apresenta valores para  $\delta^{13}\text{C}$  (-0,07 a 0,84) e  $\delta^{18}\text{O}$  (-0,11 a 0,74) superiores aos da ZMH ( $\delta^{13}\text{C}$  -1,12 a -0,19 e  $\delta^{18}\text{O}$  -1,48 a -0,12). O  $\delta^{13}\text{C}$  da ZMR é sempre maior que zero e a da ZMH não excede o valor de -0,19‰, corroborando com esses ambientes (Keith et al. 1964, Talbot 1990, Wendler et al. 2013). Os valores de ZMR mostram maior salinidade e temperaturas mais baixas (15 a 20°C), características de ambientes marinhos (Wendler

et al. 2013). Nessas duas zonas, se observa pequenas oscilações ambientais que podem ter ocorrido tanto pela mudança de temperatura, quanto pela presença de fluxo de água doce, onde períodos de seca mostram alta salinidade e  $\delta^{18}\text{O}$  mais negativos, enquanto períodos de chuva tem um comportamento inverso para salinidade e  $\delta^{18}\text{O}$  (Wingard & Surge 2017). Isso é observado pela presença ou ausência das conchas de moluscos e pela variação de comportamento dos isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{18}\text{O}$ .

No testemunho Pt-07, pode ser observado um intervalo, na base, sem a presença de conchas de moluscos (2,9–3,5m), e a sedimentação é de areia siltosa a silte arenoso e isso pode estar indicando uma mudança nas condições paleoambientais para as quais as conchas não foram preservadas ou não estavam presentes. (Figura 3)

A ZMR (2,9–2,8m) apresenta um comportamento espelhado entre os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$ . Os moluscos reconhecidos são *T. gayi*, característico de um ambiente marinho raso, e *Heleobia* sp., que neste estudo se comporta como uma espécie de condição ambiental marinha. A temperatura varia de 18°C para 20°C e a sedimentação é silte arenoso. A 2,8m, aparecem a espécies *C. tryoni* e *H. australis*, a sedimentação mostra-se mais arenosa, tipo areia siltosa (2,8-2,6m), um ambiente mais quente é verificado com uma diminuição de  $\delta^{18}\text{O}$  (Liutkus et al. 2005, Apolinarska 2009, Yanes et al. 2013, Guo & Chafetz 2014, Abu-Zied & Bantan 2015) e pelo cálculo da temperatura entre 20°C e 19°C. Em direção ao topo (2,5m), a idade de radio carbono foi de 3876 – 4004 AP, mas ainda na ZMR, o ambiente fica mais frio e ocorre o aparecimento da espécie *A. bidentata* (Tabela 2). Essa espécie tolera profundidades um pouco maiores (0-350m), provavelmente indicando que estaríamos em um ambiente marinho um pouco mais profundo. As temperaturas são mais baixas e o mar está um pouco mais alto neste momento. Subindo no testemunho (2,4–2,3m), a temperatura aumenta e só ocorre a espécie *H. australis*, evidenciando uma diminuição na salinidade, podendo indicar um aumento na descarga continental. No seguimento (2,2m), a salinidade aumenta e a espécie *A. bidentata* aparece novamente. Um pouco mais adiante, a sedimentação se torna mais fina (silte arenoso), a espécie *A. bidentata* desaparece e as espécies *T. gayi* e as *Heleobias* permanecem. O  $\delta^{18}\text{O}$  diminui, refletindo também um aumento de temperatura, isso pode estar ocorrendo devido a eventos climáticos como La Niña (Oliveira et al. 2017). Essas pequenas variações aparecem em todo o testemunho, mostrando as mudanças de temperatura que ocorreram ao longo do tempo. No final da ZMR (2,0–1,8m), o sedimento se torna muito fino (silte), as espécies *A. bidentata* e *C. tryoni* reaparecem, o  $\delta^{18}\text{O}$  aumenta e as temperaturas são mais baixas. Isto poderia estar indicando o registro da última subida do mar em função de eventos de tempestade ou sobrelevagem (Angulo et al. 2006) e não necessariamente uma mudança no nível do mar. Essa zona pode estar refletindo o evento de 4,2 ka, onde no hemisfério sul o

clima era úmido e quente (Lamb et al. 2002, Railsback et al. 2018) e marca o fim da ZMR.

Acima da ZMR (1,5 – 1,8m) não ocorrem fósseis de conchas de moluscos e o sedimento é areia. Esse intervalo pode estar representando uma zona de transição (ZT), onde o ambiente passa de marinho raso para mixohalino, o que corrobora com estudos que mostram um processo transgressivo para este período.

No início da ZMH (1,5m), a temperatura aumenta em 5°C, vai de 17°C (ZMR) para 23°C, e, se detecta a ausência das espécies marinhas e o aparecimento da espécie mixohalina *E. mactroides*. Com a diminuição de  $\delta^{18}\text{O}$ , são observadas temperaturas mais altas (média de 22°C) e a presença de textura de areia. As *Heleobias* estão presentes em três intervalos desta zona. O comportamento de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$  torna-se diretamente proporcional, isto é, quando aumenta o  $\delta^{18}\text{O}$ , o  $\delta^{13}\text{C}$  também aumenta, e apresenta valores negativos para ambos. A idade de radiocarbono foi de 3205 - 3355 AP para a profundidade de 1,2m. As condições de mudanças ambientais são observadas nos intervalos imediatamente abaixo e acima desta datação, pois nesses intervalos não são encontrados fósseis de conchas de moluscos, o que sugere que não houve condições de preservação ou não estavam presentes. Acima deste intervalo, há um espelhamento no comportamento de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{18}\text{O}$ , mostra-se um ambiente com salinidade aumentada, principalmente no intervalo de 0,7m a 0,9m, evidenciando também que a lagoa permanecia aberta. Além disso, a *E. mactroides* está ausente e apenas *H. australis* é encontrada, o clima é seco e o sedimento é mais fino (areia com silte). Seguindo em direção ao topo desta zona, há uma intensificação na dinâmica da areia, causando um aumento na taxa de deposição e este tipo de sedimento, arenoso, permanece até o topo. Muito próximo ao topo (0,3m), o  $\delta^{18}\text{O}$  está próximo de zero, o que estaria indicando um clima frio e seco, evidenciado pela presença única de *E. mactroides*. Este evento provavelmente representa um efeito La Niña. Continuando em direção ao topo do testemunho, as temperaturas aumentam, *E. mactroides* está presente e *H. australis* e *Heleobia* sp. desaparecem, a sedimentação permanece areia, e agora estamos em um ambiente mixohalino a lagunar. Isso indica que a lagoa provavelmente encontra-se fechada. Toldo Jr. et al. (1991) sugerem que o fechamento ocorreu em aproximadamente 2080 AP (idade não corrigida), devido a processos costeiros da barreira holocênica. Nesta faixa, não há aumento na salinidade. O ambiente permaneceu estável, com a presença exclusiva da espécie *E. mactroides*, temperaturas mais altas e textura de areia (Figura 3).

É muito provável que esse testemunho possa estar inserido na Série Meghalayan do Holoceno Superior (Walker et al. 2018), mas há uma necessidade de mais análises para que esses eventos sejam comprovados.

## 6. Conclusões

O testemunho Pt-07 apresenta três zonas distintas: uma Zona Marinha Rasa (ZMR), uma Zona de

Transição (ZT) e uma Zona Mixohalina (ZMH), não mostrando conchas de moluscos fósseis em sua base. Essas zonas têm as seguintes características, da base para o topo:

- ZMR - presença de conchas de moluscos marinhos (*Carycorbula tryoni*, *Acteocina bidentata* e *Tawera gayi*), sedimentos variando de silte a silte arenoso, comportamento espelhado dos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  e temperatura média mais baixa (17°C). A 2,5m, a idade do  $^{14}\text{C}$  é de 3876 – 4004 AP;
- Zona de transição - ausência de conchas de moluscos e sedimentos mais grossos (areia);
- (c) ZMH - ausência de conchas de moluscos marinhos, aparecimento de *Erodona mactroides* (molusco mixohalino típico), sedimentação mais grossa, variando de areia a silte arenoso. Comportamento de  $\delta^{18}\text{O}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$  concordante e com valores negativos. A temperatura aumenta em 5°C, com uma média de 22°C. A 1,2m, a idade do  $^{14}\text{C}$  é de  $3.054 \pm 27$  anos AP. Os 0,3m desta zona provavelmente refletem o fechamento da Lagoa dos Patos.

O testemunho Pt-07, provavelmente, estaria inserido na série Meghalayan do Holoceno Superior.

Esses traços concordam amplamente com a variação do nível do mar e com a história evolutiva da formação de ilhas barreira na região costeira do sul do Brasil, onde as conchas de moluscos de espécies marinhas ocorrem na base do testemunho e as conchas de espécies mixohalinas no topo.

## 7. Referências

- Abu-Zied RH, Bantan RA 2015 Palaeoenvironment, palaeoclimate and sea-level changes in the Shuaiba Lagoon during the late Holocene (last 3.6 ka), eastern Red Sea coast, Saudi Arabia. *Holocene*, 25(8):1301-1312. [https://doi: 10.1177/0959683615584204](https://doi.org/10.1177/0959683615584204)
- Almeida FFM de, Hasui Y, Ponçano WL, Dantas ASL, Carneiro CDR, Melo MS de, Bistrichi CA 1981 Mapa Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 126p. Escala 1:500.000.
- Andreasson FP, Schmitz B, Jönsson E 1999 Surface-water seasonality from stable isotope profiles *Littorina littorea* shells: implications for paleoenvironmental reconstructions of coastal areas. *Palaios*, 14:273-281.
- Angulo RJ, Lessa GC, Souza MC de 2006 A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25:486-506.
- Apolinarska K 2009 Reconstruction of the early and middle Holocene climate and environment based on  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  records in biogenic carbonates; Lake Niepruzewskie, western Poland. *Acta Geologica Polonica*, 3:359-370.
- Asmus ML 1998 A Planície Costeira e a Lagoa dos Patos. In: SEELIGER U., ODEBRECHT C., CASTELLO J.P. (eds) Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. 341p.
- Baitelli, R. 2012. Evolução Paleogeográfica do Sistema de Paleodrenagem do Rio Jacuí na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 148p.
- Baitelli R, Corrêa ICS, Toldo Jr EE, Martins LRS, Weschenfelder J, Ayup-Zouain RN 2007 Sistema Lagunar: Síntese dos conhecimentos sobre a Lagoa dos Patos. In: IANNUZZI R.,

- FRANTZ J.C. (org) 50 Anos de Geologia Instituto de Geociências, 1:317-325.
- Bhaumik AK, Kumar S, Ray S, Vishwakarma, GK, Gupta AK, Kumar P, Sain K 2017 Stable carbon and oxygen isotope study on benthic foraminifera: Implication for microhabitat preferences and interspecies correlation. *Journal Earth System Science*, 126:72-87.
- Bortolin EC 2011 Análise Sismoestratigráfica no Estudo Evolutivo de Paleocanais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 64p.
- Buchmann FS 2002 Bioclastos de organismos terrestres e marinhos na praia e plataforma interna do Rio Grande do Sul: natureza, distribuição, origem e significado geológico – RS. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 107p.
- Calliari LJ, Winterwerp JC, Fernandes E, Cuchiara D, Vinzon SB, Sperle M, Holland KT 2009 Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon-Cassino beach sedimentary system. *Continental Shelf Research*, 29(3):515-529.
- Caron F, Tomazelli LJ, Dehnhardt BA, Medeanic S, Dillenburg SR 2007a Evolução paleogeográfica durante o Holoceno na região da desembocadura do Arroio Chuí, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 5., 2007, Montevideo. CD-Rom.
- Caron F, Tomazelli LJ, Dehnhardt BA, Medeanic S, Dillenburg SR 2007b A transgressão marinha pós-glacial na região da desembocadura do Arroio Chuí, Planície Costeira do Rio Grande do Sul: implicações paleogeográficas. In: CONGRESSO ABEQUA, 11., 2007, Belém, Pará. CD-Rom.
- Cerling TE, Hay RL 1986 An isotopic study of paleosol carbonates from Olduvai Gorge. *Quaternary Research*, 25:63-78.
- Closs D, Forti IRS 1971 Quaternary Mollusks from the Santa Vitória do Palmar county. *Iheringia Geology*, 4:19-58.
- Dillenburg SR, Barboza EG, Tomazelli LJ, Rosa MLCC, Maciel GS 2013 Aeolian deposition and barrier stratigraphy of the transition region between a regressive and transgressive barrier: an example from southern Brazil. *Journal Coastal Research*, 65:464-469.
- Dillenburg SR, Hesp PA, Tomazelli LJ, Barboza EG, Clerot LCP, Ayup-Zouain RN 2009 The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg SR, Hesp PA (Org.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences, 107:53-91.
- Dillenburg SR, Roy PS, Cowell PJ, Tomazelli LJ 2000 Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). *Journal Coastal Research*, 16:71-81.
- Dillenburg SR, Tomazelli LJ, Barboza EG 2004 Barrier evolution and placer formation at Bojuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203:43-56.
- Dillenburg SR, Tomazelli LJ, Hesp PA, Barboza EG, Clerot LCP, Silva DB 2006 Stratigraphy and evolution of a prograded, transgressive dune field barrier in southern Brazil. *Journal Coastal Research*, 39(1):132-135.
- Erthal F, Kotzian CB, Simões MG 2011 Fidelity of molluscan assemblages from the Touro Passo Formation (Pleistocene-Holocene) southern Brazil: taphonomy as a tool for discovering natural baselines for freshwater communities. *Palaios*, 26(7):433-446.
- Faure G 1977 Principles of Isotope Geology. John Wiley & Sons, Inc., 463p.
- Forti-Esteves IRS 1974 Bioestratigrafia e Paleoecologia (Mollusca) do Quaternário da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, SBG, Porto Alegre, RS. Anais, Porto Alegre, 3:133-149.
- Forti-Esteves IRS 1986 Moluscos Quaternários provenientes de sondagem efetuada em Albatroz, RS. *Acta Geologica Leopoldensia*, 23:57-64.
- Fourel F, Martineau F, Tóth E, Görög A, Escarguel G, Lécuyer C 2015 Carbon and Oxygen isotope variability among foraminifera and ostracod carbonated shells. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska Lublin, LXX*:133-156.
- Gamboa LAP, Rabinowitz PD 1981 The Rio Grande Fracture Zone in the western South Atlantic and its tectonic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 52:410-418.
- Godolphim MF, Artusi L, Dehnhardt BA, Villwock JA, Forti-Esteves IRS 1989 Novas evidências da Transgressão holocênica na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, 29(12):23-36.
- Guo X, Chafetz HS 2014 Trends in  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values in lacustrine tufa mounds: Palaeohydrology of Searles Lake, California. *Sedimentology*, 61(1):221-237. [https://doi: 10.1111/sed.12085](https://doi.org/10.1111/sed.12085)
- Hoefs J 2004 Stable Isotope in Geochemistry. Springer Verlag, Germany, 5 ed., 244 p.
- Ihering H Von 1885 Die Lagoa dos Patos. *Deutsche Geographie*, 8(2):164-205.
- Ivlev AA 2017 On the physical sense of  $\delta^{13}\text{C}$  values of carbonate and organic matter of sedimentary rocks. *Journal of Ecosystem and Ecography*, 7:e126. [https://doi: 10.4172/2157-7625.1000e127](https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000e127)
- Keith ML, Anderson GM, Eichler R 1964 Carbon and Oxygen isotopic composition of mollusk shells from marine and fresh-water environments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28:1757-1786.
- Lamb AL, Leng MJ, Lamb HF, Telford RJ, Mohammed MU 2002 Climatic and non-climatic effects on the  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  compositions of Lake Awassa, Ethiopia, during the last 6.5 ka. *Quaternary Science Reviews*, 21:2199-2211.
- Leng MJ, Lewis JP 2016 Oxygen isotopes in Molluscan shell: Applications in environmental archaeology. *Environmental Archaeology*, 21(3):295-306.
- Lima LG 2008 Estratigrafia e Evolução da barreira holocênica na praia do Hermenegildo (RS). Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 72p.
- Lima LG, Dillenburg SR, Medeanic S, Tomazelli LJ, Dehnhardt BA, Caron F 2013 Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. *Journal of South American Earth Science*, 42:27-38.
- Liutkus CM, Wright JD, Ashely GM, Sikes NE 2005 Paleoenvironmental interpretation of lake-margin deposits using  $\text{d}^{13}\text{C}$  and  $\text{d}^{18}\text{O}$  results from early Pleistocene carbonate rhizoliths, Olduvai Gorge, Tanzania. *Geological Society of America Bulletin*, 33(5):377-380.
- Lopes RP, Simone LR 2012 New Fossil Records of Pleistocene Marine Mollusks in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 15(1):49-56.
- Oliveira DL 2012 Patrimônio Arqueológico no centro-sul do Rio Grande do Sul: Sambaquis da Lagoa. Dissertação de Mestrado em Patrimônio Cultural, Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: [http://coral.ufsm.br/ppgppc/imagens/dissertacão\\_dagobertolopes.pdf](http://coral.ufsm.br/ppgppc/imagens/dissertacão_dagobertolopes.pdf). Acesso em 10 março 2014.
- Oliveira MJ de, Carneiro CDR, Vecchia FAS, Baptista GMM de 2017 Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/td.v13i3.8650958>. Acesso em 15 abril 2018.
- Pimpão DM 2004 Moluscos Bivalves da Plataforma Externa e Talude Superior ao largo de Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Biologia Animal, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 190p.
- Railsback LB, Liang F, Brook GA, Voarintsoa NRG, Sletten HR, Marais E, Hardt B, Cheng H, Edwards RL 2018 The timing, two-pulsed nature, and variable climatic expression of the 4.2 ka event: A review and new high-resolution stalagmite data from Namibia. *Quaternary Science Reviews*, 78-90.
- Reynolds DJ, Hall IR, Slater SM 2019 An integrated carbon and oxygen isotope approach to reconstructing past environmental variability in the northeast Atlantic Ocean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 523:48-61.
- Rios EC 2009 Compendium of Brazilian Sea Shells. Rio Grande, RS. *Evangraf*, 676p.
- Ritter MN 2010a Assinaturas tafonômicas em moluscos do sistema estuarino lagunar de Tramandaí, RS, Brasil. *Resumo, Salão de Iniciação Científica*.
- Ritter MN 2010b Reconstrução (Paleo) ambiental holocênica do sistema lagunar de Tramandaí com base em tafonomia de moluscos bivalves. In: SIMPÓSIO DE BIOLOGIA MARINHA, 2., 2010, Tramandaí e Imbé, Resumos, p. 31.
- Ritter MN, Erthal F 2011 Zona tafonomicamente ativa em ambiente estuarino-lagunar com base em moluscos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In: CARVALHO I.S., SRIVASTAVA

- N.K., STROHSCHOEN Jr. O., LANA C.C. (orgs), Paleontologia: Cenários da Vida. Rio de Janeiro: Interciência, 4:353-363.
- Ritter MN, Erthal F, Coimbra JC 2013 Taphonomic signatures in molluscan fossil assemblages from the Holocene lagoon system in the northern part of the coastal plain, Rio Grande do Sul State, Brazil. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.03.013>. Acesso em 08 abril 2018.
- Salvador RB, Tütken T, Tomotani BT, Berthold C, Rasser MW 2018 Paleocological and isotopic analysis of fossil continental mollusks of Sandelzhausen (Miocene, Germany). *Paläont Gesel*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12542-017-0400-6>. Acesso em 20 novembro 2018.
- Shackleton NJ 1974 Oxygen isotope analysis as a means of determining season of occupation of prehistoric midden sites. *Archaeometry* 15:133-141.
- Shepard FP 1954 Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24:151-158.
- Silva JRM da, Suguio K, Salati E 1979 Composição isotópica de Carbono e Oxigênio de conchas de pelecípodos do litoral brasileiro e seu significado ambiental. *Boletim IG, Instituto de Geociências, USP*, 10:79-90.
- Silva MCP 2003 Hydrobiidae (Gastropoda, Neotaenioglossa, Rissoidea) da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 364p.
- Talbot MR 1990 A review of the palaeohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates. *Chem Geol Isot Geos Sec* 80:261-279.
- Toldo Jr. EE 1994 Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da ante praia e zona de surfê do sistema lagunar da Lagoa dos Patos. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 143p.
- Toldo Jr EE, Ayup-Zouain RN, Corrêa ICS, Dillenburger S 1991 Barra Falsa: Hipótese de um Paleocanal holocênico de comunicação entre a Laguna dos Patos e o Oceano Atlântico. *Pesquisas*, 18(2):99-103.
- Tomazelli LJ, Dillenburger SR, Villwock JA 2000 Late Quaternary Geological History of Rio Grande do Sul Coastal Plain, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3):470-472.
- Urien CM, Martins LR 1978 Structural and Physiographic Map of Eastern South America and Western South Atlantic. Porto Alegre, CECO/UFRGS. Série Mapas 03.
- Veitenheimer-Mendes IL 1993 Malacofauna, Paleocologia e Biofácies de sedimentos holocênicos da Planície Costeira de Imbituba e Imaruí, Santa Catarina, Brasil. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 309p.
- Villwock JA 1972 Contribuição à geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 113p.
- Villwock JA 1984 Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. *Pesquisas*, 15:5-49.
- Villwock JA, Tomazelli LJ 1995 Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, 8:1-45.
- Villwock JA, Tomazelli LJ 1998 Holocene coastal evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. In: RABASSA J., SALEMME M. (eds) *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, Rotterdam: A.A. Balkema, 11:283-296.
- Villwock JA, Tomazelli LJ, Loss EL, Dehnhardt EA, Bachi F, Dehnhardt BA, Godolphim MF, Horn Fº NO 1994 Mapa Geológico da Província Costeira do Rio Grande do Sul – Escala 1:1.000.000. CECO, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Villwock JA, Tomazelli LJ, Loss EL, Dehnhardt EA, Horn Fº NO, Bachi F, Dehnhardt BA 1986 Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: RABASSA J. (ed) *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. Rotterdam: A.A. Balkema, 4:79-97.
- Walker M, Head MJ, Berkelhammer M, Björck S, Cheng H, Cwynar L, Fisher D, Gkinis V, Long A, Lowe J, Newnham R, Rasmussen SO, Weiss H 2018 Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Durham Reserach Online*. Disponível em: <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2018/018016>. Acesso em 15 outubro 2018.
- Wendler I, Huber BT, MacLeod K, Wendler JE 2013 Stable oxygen and carbon isotope systematics of exquisitely preserved Turonian foraminifera from Tanzania – Understanding isotopic signatures in fossils. *Marine Geology*, 102:1-33.
- Wiggers F 2003 Moluscos Gastrópodes da Plataforma Continental Externa e Talude Continental ao largo da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 136p.
- Wingard GL, Surge D 2017 Application of Molluscan analyses to the reconstruction of past environmental conditions in estuaries. <https://doi.org/10.1007/978-94-024-0990-115>
- Yanes Y, Riquelme JA, Cámara JA, Delgado A 2013 Stable isotope composition of middle to late Holocene land snail shells from the Marroquíes archeological site (Jaén, southern Spain): paleoenvironmental implications. *Quaternary International*, 302:77-87.
- Zhao Z, Wang J, Wang P 2017 Carbon and oxygen isotope variation and its implication for marine sequence: A case study of Ordovician in Tarim Basin. *Petroleum Research*, 2:281-290. .

---

Recebido 30 de abril de 2020  
Aceito 03 de março de 2021