



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS LAGOAS DE OSÓRIO, NORTE DA  
PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

**CASSIANO ALVES MARCHETT**

**Caxias do Sul**

**2017**



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E**  
**CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**CASSIANO ALVES MARCHETT**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS LAGOAS DE OSÓRIO, NORTE DA**  
**PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, orientada pela Professora Dra. Rosane Maria Lanzer.

**Caxias do Sul**

**2017**

M317c Marchett, Cassiano Alves

Caracterização morfológica das lagoas de Osório, norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil / Cassiano Alves Marchett. – 2017.  
79 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2017.

Orientação: Rosane Maria Lanzer.

1. Lagoas costeiras. 2. Morfologia. 3. Planície costeira. 4. Lagoas - Rio Grande do Sul. 5. Lagoas - Brasil. I. Lanzer, Rosane Maria, orient. II. Título.

**“CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS LAGOAS DE OSÓRIO, NORTE DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.”**

**CASSIANO ALVES MARCHETT**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais, Área de Concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental.

Caxias do Sul, 22 de setembro de 2017.

Banca Examinadora:

Dra. Rosane Maria Lanzer  
Orientadora  
Universidade de Caxias do Sul

Dr. Laurindo Antonio Guasselli  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr. Matheus Parmegiani Jahn  
Universidade de Caxias do Sul

Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## RESUMO

A compreensão da dinâmica hídrica e das relações ecológicas em estudos limnológicos inclui, imprescindivelmente, a morfologia do corpo de água. O conhecimento científico dos parâmetros morfométricos é fundamental não somente para medidas e quantificações, mas também para o entendimento dos processos internos que influenciam a dinâmica dos nutrientes e a distribuição das comunidades biológicas. A planície costeira do Rio Grande do Sul foi formada por processos de erosão e deposição durante eventos marinhos de transgressão e regressão, associados à erosão fluvial e eólica durante o Quaternário. Durante o Pleistoceno e Holoceno foram estruturados quatro sistemas de depósito, chamados lagoa-barreira, compreendendo grande diversidade de ecossistemas úmidos, dentre os quais as lagoas ao longo da costa do Oceano Atlântico, em sua maioria contendo água doce. Devido a sua gênese, essas lagoas são rasas, com profundidade relativa inferior a 2% e alcançam profundidade máxima de 11 metros no litoral médio do Rio Grande do Sul. O presente estudo teve como objetivo caracterizar morfologicamente as lagoas do município de Osório, Rio Grande do Sul, Brasil. Devido às características regionais de toponímia e segmentação, algumas lagoas puderam ser avaliadas como um ou mais corpos de água, resultando na caracterização de 20 corpos de água a partir dos 16 nomes oficiais atribuídos às lagoas. Os levantamentos batimétricos foram realizados entre os anos de 2013 e 2015, com o uso de ecobatímetro acoplado de GPS e aplicação de sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Como resultados foram produzidos um artigo submetido à Revista Brasileira de Recursos Hídricos e um capítulo de livro na obra Atlas Sociambiental do Município de Osório. No artigo intitulado “*Morphological characterization of thirteen lakes in Osório, northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil*” foram caracterizadas morfologicamente 13 lagoas no município de Osório, Rio Grande do Sul, Brasil. A análise de Cluster distinguiu quatro grupos morfológicos, confirmados pela Análise Discriminante. A análise de componentes principais identificou o primeiro componente com carga positiva para parâmetros de tamanho e carga negativa para a profundidade relativa, enquanto o segundo componente apresentou carga positiva para as profundidades máxima e profundidade média e carga negativa para o desenvolvimento do perímetro e o desenvolvimento do volume. Os parâmetros de tamanho mostraram ser, portanto, mais importantes na classificação das lagoas do que os parâmetros de profundidade. A baixa profundidade das lagoas estudadas (profundidade máxima = 4,6 m, maior profundidade média = 2,2 m) é elemento fundamental na gestão dos recursos hídricos, uma vez que o pequeno volume e tamanho tornam as lagoas rasas mais suscetíveis a processos de eutrofização. No capítulo intitulado “Morfologia”, as lagoas são apresentadas com mapa batimétrico, imagem aérea, parâmetros morfométricos e descrição das principais características de cada lagoa. O capítulo é apresentado de forma didática e com linguagem acessível, de forma a abranger um público amplo. Dados morfológicos são essenciais para a compreensão ecológica das lagoas, especialmente se associados a análises de transparência, turbidez, distribuição vertical de nutrientes e oxigênio e aplicação de índices tróficos, bem como são subsídio para a gestão dos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** lagoas costeiras, morfologia, planície costeira, Rio Grande do Sul, Brasil.

## ABSTRACT

The understanding of water dynamics and ecological relations in limnological studies necessarily includes the morphology of the water body. The scientific knowledge of morphometric parameters is fundamental not only for measurements and quantification, but also for the understanding of internal processes that influence nutrient dynamics and the biological communities distribution. The coastal plain of Rio Grande do Sul was formed by erosion and deposition processes during marine transgression and regression process, associated with fluvial and wind erosion during the Quaternary. During the Pleistocene and Holocene, four depositional systems, called barrier-lagoon, were settled comprising a great diversity of humid ecosystems, among them the lakes along the coast of the Atlantic Ocean, mostly containing fresh water. Due to their genesis, the lakes are shallow with relative depth less than 2% and maximum depth of 11 meters in the middle coast of Rio Grande do Sul. The study aimed to morphologically characterize the lakes of Osório, Rio Grande do Sul, Brazil. Due to the regional characteristics of toponymy and segmentation some lakes could be evaluated as one or more water bodies, resulting in the characterization of 20 water bodies from the 16 official names attributed to the lakes. Bathymetric surveys were conducted between the years 2013 and 2015, based on echo sounder coupled with GPS and application of remote sensing and GIS. As results were produced an article submitted to the Brazilian Journal of Water Resources and a chapter in book titled "*Atlas Socioambiental do Município de Osório*". In the article titled "Morphological characterization of thirteen lakes in Osório, northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil" were morphologically characterized 13 lakes in Osório, Rio Grande do Sul, Brazil. Cluster analysis distinguished four morphological groups, confirmed by Discriminant Analysis. Principal component analysis identified the first component positively charged with parameters of size and negatively charged with relative depth, while the second component was positively charged with maximum and average depths and negatively charged with perimeter development and volume development. Therefore, size parameters were more important for the lakes classification than depth parameters. The coastal lakes shallowness (maximum depth = 4.6 m, largest average depth = 2.2 m) is a fundamental element for water resources management, since their low volume and small size make them more susceptible to eutrophication processes. In the chapter titled "*Morfologia*", the lakes are presented with bathymetric map, aerial photo, morphometric parameters and a description of the main characteristics for each lake. The chapter is presented in a didactic and accessible language in order to reach a wide public. Morphological data are essential ecological understanding of lakes, especially if associated with analyzes of transparency, turbidity, vertical distribution of nutrients and oxygen and application of trophic indexes, as well as being a subsidy for the water resources management.

**Keywords:** coastal lakes, morphology, coastal plain, Rio Grande do Sul, Brazil.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
3.1	PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL E GÊNESE DAS LAGOAS COSTEIRAS .....	11
3.2	MORFOLOGIA E PROCESSOS ECOLÓGICOS .....	17
3.3	MORFOLOGIA E MORFOMETRIA .....	20
<b>3.3.1</b>	<b>Parâmetros diretos</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Parâmetros indiretos</b> .....	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	24
4.2	PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS .....	25
<b>4.2.1</b>	<b>Parâmetros diretos</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Parâmetros indiretos</b> .....	<b>26</b>
4.3	BATIMETRIA .....	27
4.4	SIG, MODELAGEM E MAPEAMENTO .....	28
4.5	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS .....	28
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
5.1	ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS (RBRH) .....	29
5.2	MANUSCRITO DO CAPÍTULO INTITULADO “MORFOLOGIA” .....	41
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>66</b>
	<b>ANEXO A: CAPÍTULO INTITULADO “MORFOLOGIA”, DIAGRAMADO PARA PUBLICAÇÃO NA OBRA ATLAS SOCIOAMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE OSÓRIO</b> .....	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos limnológicos que objetivam a compreensão da dinâmica hídrica e das relações ecológicas em corpos de água incluem, necessariamente, a observação da morfologia. Os primeiros estudos em lagos e lagoas consideraram extensivamente este fator, aplicando-o na classificação dos corpos de água. Os primórdios da limnologia referem-se à investigação de lagos temperados da Europa e América do Norte, muitos dos quais de origem glacial.

O conhecimento científico dos parâmetros morfométricos é fundamental não somente para medidas e quantificações, mas também para o entendimento dos processos internos que influenciam o transporte de nutrientes e a distribuição das comunidades biológicas.

As lagoas costeiras de Osório estão inseridas na “Planície Costeira do Rio Grande do Sul”, a mais recente província das quatro que constituem a geomorfologia do Estado, com 620 km de extensão e largura variável entre 20 e 80 km. A planície foi formada por processos de erosão e deposição durante eventos marinhos de transgressão e regressão no Quaternário, associados à erosão fluvial e eólica, gerando os sistemas deposicionais chamados Laguna-Barreira. Os grandes eventos de oscilação do nível do mar estabeleceram os sistemas I, II e III no Pleistoceno e o sistema IV no Holoceno, ainda ativo. Esta situação propiciou o mosaico de ecossistemas que se observa na região, incluindo as diversas lagoas ao longo da costa do Oceano Atlântico, em sua maioria contendo água doce.

Devido a sua gênese, essas lagoas são rasas, alcançando o máximo de 11 metros no litoral médio do Rio Grande do Sul. Lagos rasos são facilmente influenciados pelo vento, como ocorre na região costeira do Rio Grande do Sul onde a coluna de água é constantemente misturada.

Diferentemente de outras lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, em geral influenciadas a leste pela movimentação de dunas, as lagoas de Osório estão completamente circundadas por vegetação terrestre e áreas úmidas.

A primeira classificação das lagoas costeiras no Rio Grande Sul, realizada por Schäfer entre 1979 e 1983, abrangeu 48 lagoas ao longo de toda região e estabeleceu tipos morfológicos baseados em tamanho e profundidade.

As atuais tecnologias, incluindo a coleta georreferenciada de dados e a análise de imagens de satélite, permitem a aplicação de métodos eficientes e replicáveis que podem ser



empregados em estudos limnológicos diversos, gerando resultados satisfatórios e essenciais para a compreensão da estrutura e funcionamento dos corpos de água.

Ante o exposto, dados morfológicos são essenciais para a compreensão ecológica, especialmente quando associados a análises de transparência, turbidez, distribuição vertical de nutrientes e oxigênio e aplicação de índices tróficos, bem como são subsídio fundamental para a gestão dos recursos hídricos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar morfologicamente 16 lagoas do município de Osório, Rio Grande do Sul, Brasil.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar e descrever morfometricamente as lagoas, através de levantamentos ecobatimétricos, sensoriamento remoto e aplicação de Sistemas de Informações Geográficas (SIG);
- b) Identificar os tipos morfológicos das lagoas por meio de tratamento estatístico.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL E GÊNESE DAS LAGOAS COSTEIRAS

Por todo o planeta são encontradas costas de sedimentação, constituindo 13% das margens dos continentes e das ilhas marítimas, com pouca elevação acima do nível do mar e a presença de barreiras e planícies de sedimentos marinhos e fluviais (BARNES, 1980). Na formação das planícies costeiras atuam de forma sinérgica cinco fatores: 1) Núcleos de Sedimentação, 2) Correntes Marinhas Paralelas à Costa, 3) Material Sedimentável, 4) Plataforma Continental e 5) Oscilações do Nível do Mar (SCHÄFER, 2009). No Brasil, a plataforma continental estende-se por toda costa e possui grande representatividade no sul do país (SCHÄFER, 2013a).

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), a mais recente das quatro províncias geomorfológicas do Estado e assim chamada pela primeira vez por Nogueira (1948), perfaz área de aproximadamente 37.000 km<sup>2</sup>, dos quais 22.740 km<sup>2</sup> são área terrestre e 14.260 km<sup>2</sup> são cobertos por corpos de água. A linha costeira tem comprimento de 620 km, desde os promontórios do município de Torres até o município do Chuí (DELANEY, 1965).

A estruturação da PCRS iniciou com o transporte dos sedimentos clásticos oriundos das partes mais elevadas, para o interior da Bacia de Pelotas, formando o sistema deposicional de leques aluviais na base das terras altas (TOMAZELLI et al., 2000; TAGLIANI, 2011). Este sistema deposicional mais antigo serviu de matéria-prima para a ação dos processos físicos costeiros e as oscilações do nível do mar, resultando nos Sistemas do Tipo Laguna-barreira. Os sistemas I, II e III foram originados durante o Pleistoceno e o sistema IV no Holoceno (SCHWARZBOLD e SCHÄFER, 1984; VILLWOCK, 1984; VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995; TOMAZELLI et al., 2000; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000; DILLENBURG et al., 2004; REGINATO e AHLERT, 2013) (Figuras 1 e 2).

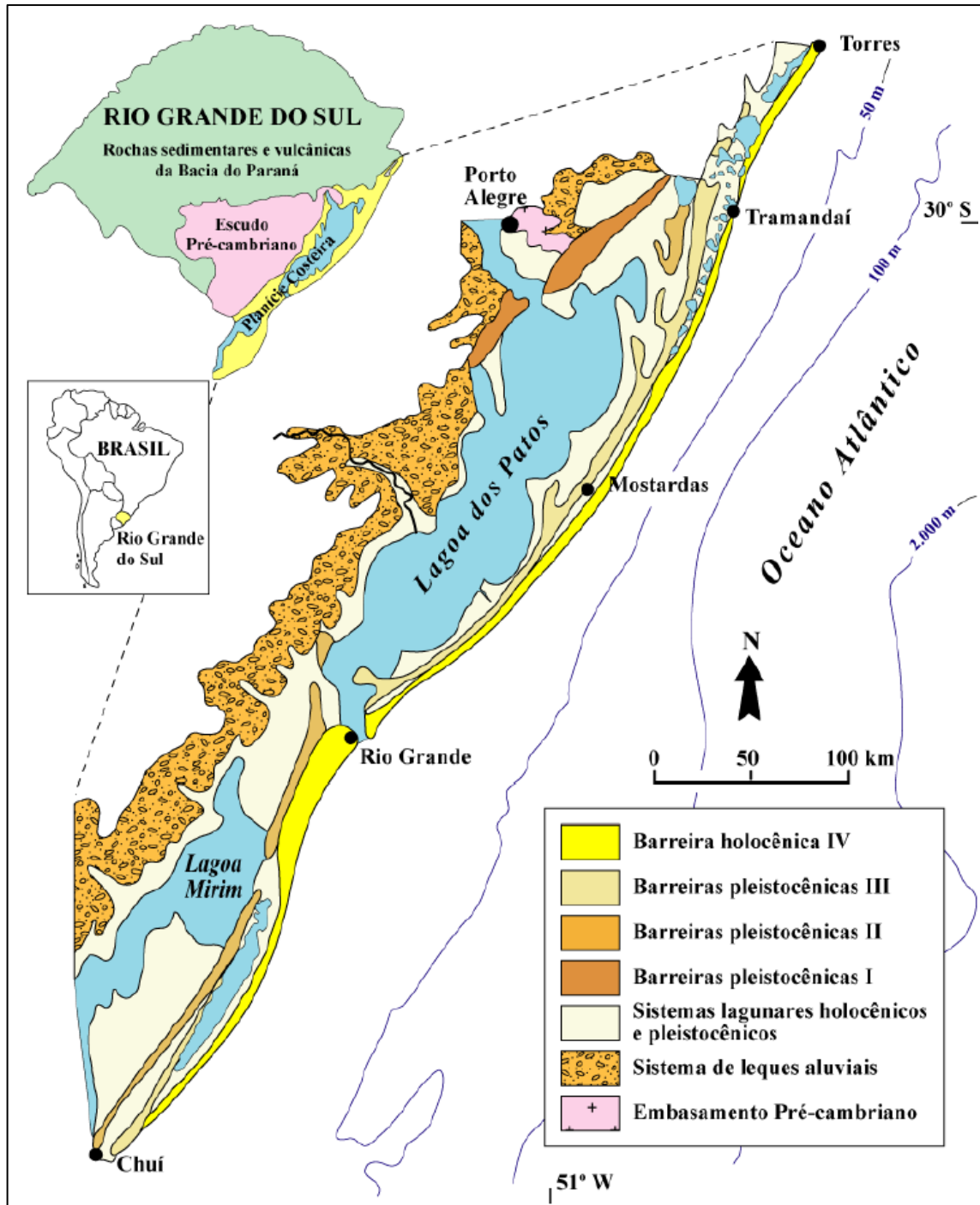


Figura 1. Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, ilustrando os principais sistemas deposicionais (TOMAZELLI e VILLWOCK, 1996).

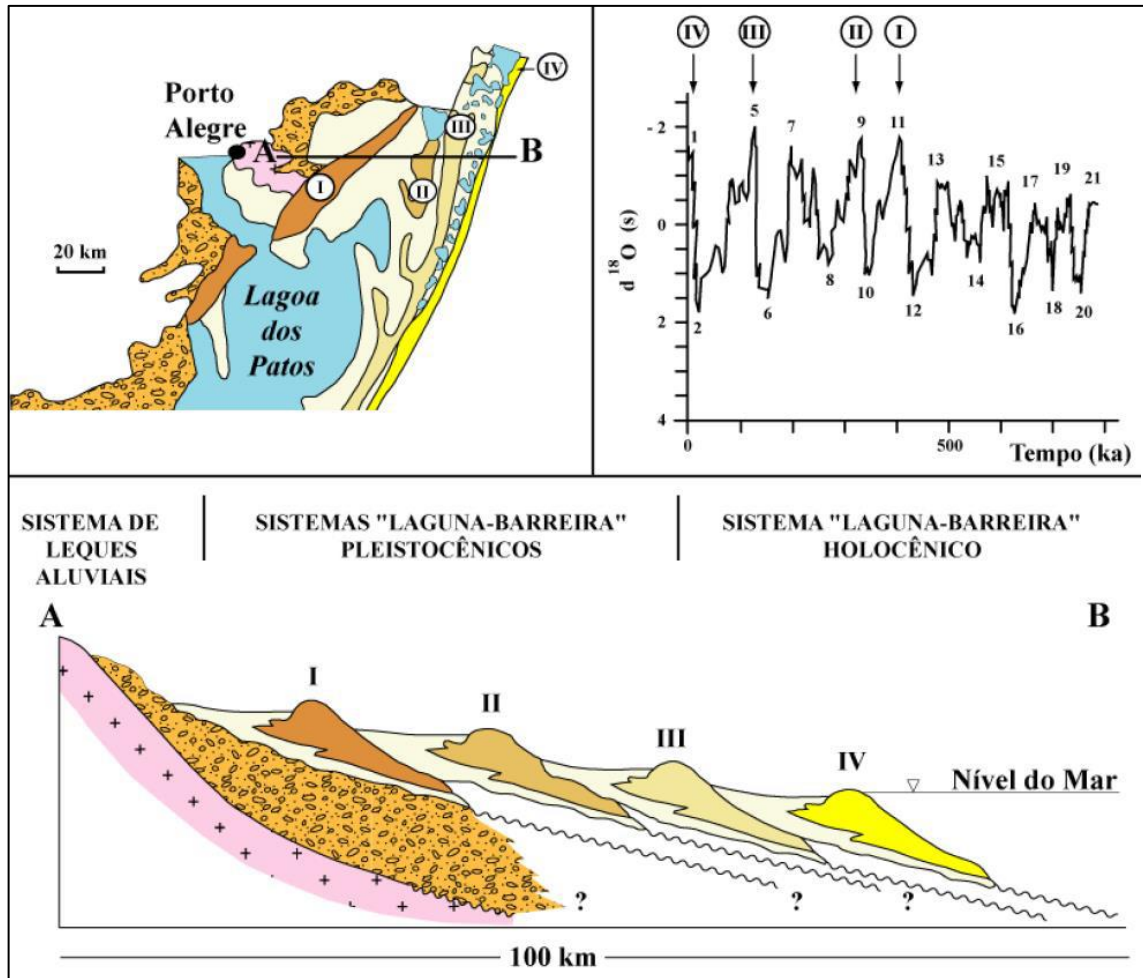


Figura 2. Perfil esquemático na latitude de Porto Alegre e configuração dos cinco sistemas deposicionais da PCRS, com destaque para os quatro sistemas laguna-barreira (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

O Sistema Laguna-Barreira I corresponde ao mais antigo sistema deposicional, com idade aproximada de 400 mil anos. Desenvolvido durante o primeiro evento transgressivo-regressivo Pleistocênico, formou uma depressão ocupada por pelo sistema lagunar Guaíba-Gravataí, com sedimentação fluvial e a transformação em depósitos aluviais, lagunares e paludais (VILLWOCK, 1984; VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

O Sistema Laguna-Barreira II corresponde ao sistema deposicional ao segundo evento transgressivo-regressivo Pleistocênico, de idade aproximada de 325 mil anos. Esse Sistema corresponde ao primeiro Estágio na evolução da Barreira Múltipla Complexa (VILLWOCK, 1984), cuja individualização está representada pela Lagoa dos Patos e pela Lagoa Mirim. Os depósitos eólicos e praias são preservados somente em alguns lugares da Planície Costeira, como um grande pontal arenoso desenvolvido ao leste da Lagoa dos Barros e ao sul como resquíços do primeiro isolamento da Lagoa Mirim (SOARES, 2016).

O sistema Laguna-Barreira III está associado ao terceiro e último evento transgressivo-regressivo do Pleistoceno, com idade aproximada de 120 mil anos. O sistema deposicional III corresponde à principal Barreira responsável pelo isolamento final do Sistema Lagunar Patos-Mirim denominada de Sistema de Barreira Múltipla Complexa, e estende-se de maneira quase contínua ao longo de toda a Planície Costeira do Rio Grande do Sul. (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995; TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

O Sistema Laguna-Barreira IV é o sistema deposicional mais recente que se refere ao último evento transgressivo-regressivo ocorrido no Holoceno e que ainda se mantém ativo (DILLENBURG et al., 2000). Essa isolou um sistema lagunar ao longo da costa e que consiste num rosário de pequenas lagoas, onde a sedimentação é controlada predominantemente pela ação eólica sobre as dunas móveis (DELANEY, 1965; SCHWARZBOLD e SCHÄFER, 1984). Esta região compreende em torno de 100 corpos de água, muitos dos quais de água doce, apesar da proximidade com o Oceano Atlântico (SCHWARZBOLD e SCHÄFER, 1984; SCHÄFER et al., 2009a; AHLERT et al., 2013). Devido a sua origem, as lagoas no Rio Grande do Sul são caracterizadas por profundidade relativa inferior a 2% e alcançam o valor máximo de 11 metros nas lagoas dos Moleques e da Figueira, no litoral médio (SCHÄFER, 1992a; SCHÄFER et al., 2009a).

No trecho norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul tem sua faixa mais estreita, ao se confrontar com rochas vulcânicas e sedimentares da bacia do Paraná (DELANEY, 1965). O afunilamento mais marcante na direção sul-norte tem início no município de Osório, onde lagoas confrontando-se diretamente com as formações Botucatu e Serra Geral, como as lagoas dos Barros, da Pinguela e do Palmital (DELANEY, 1962, CPRM, 2007; VIERO e SILVA, 2010) (Figura 3).

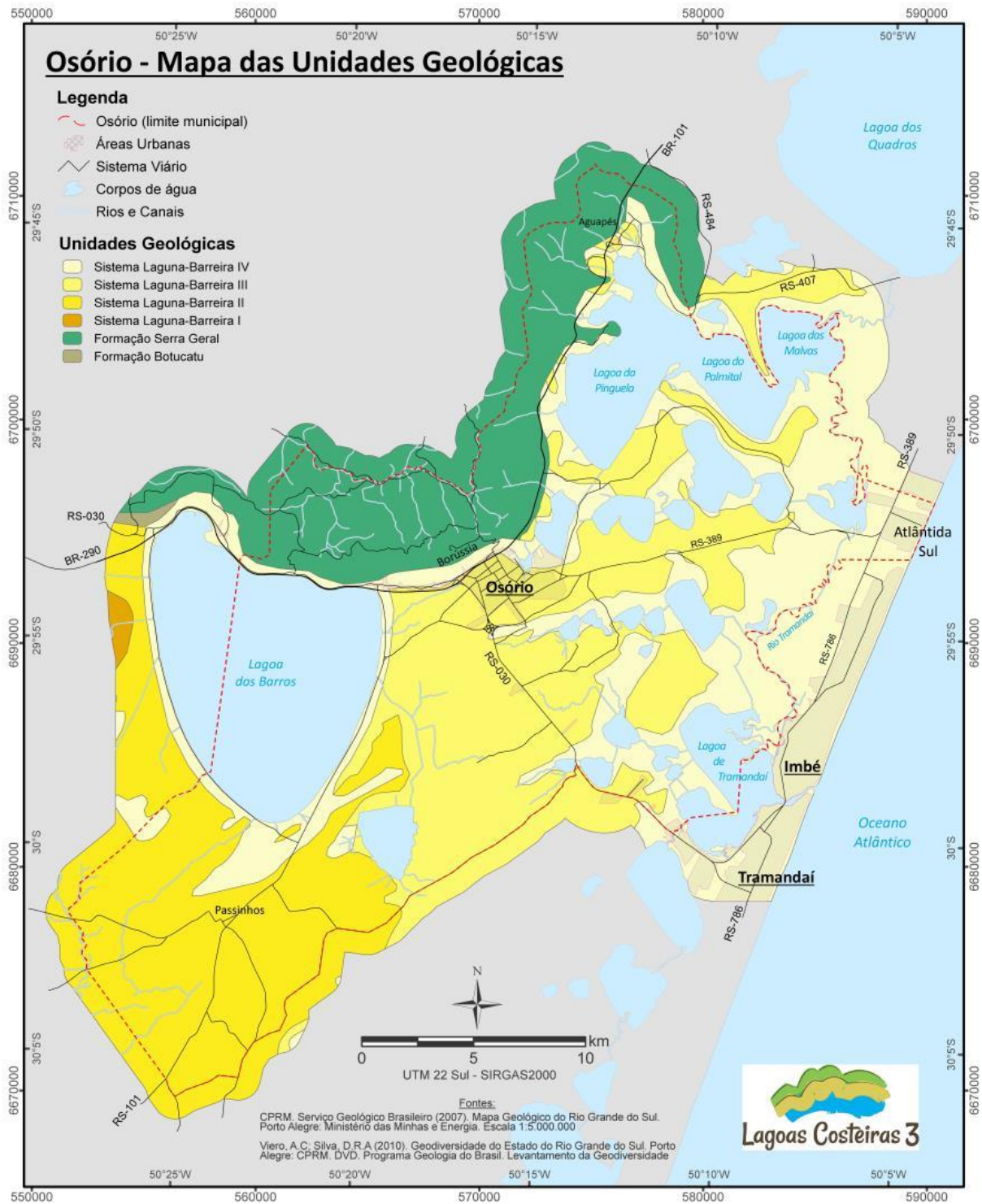


Figura 3- Mapa das unidades geológicas do município de Osório (adaptado de: CPRM, 2007; VIERO e SILVA, 2010).

As lagoas em Osório, com exceção das lagoas dos Barros e dos Índios, compartilham parcialmente a gênese das demais lagoas costeiras no Rio Grande do Sul. Estas lagoas iniciaram seu desenvolvimento no Pleistoceno com a inundação de vales secos de rios durante a transgressão pré-glacial e finalizando na transgressão pós-glacial com erosão e

sedimentação fluviais. Existem ao menos duas seqüências de lagoas estabelecidas de modo alinhado quase perpendicularmente à linha de costa do Oceano Atlântico (SCHÄFER, 1992a) (figura 4).

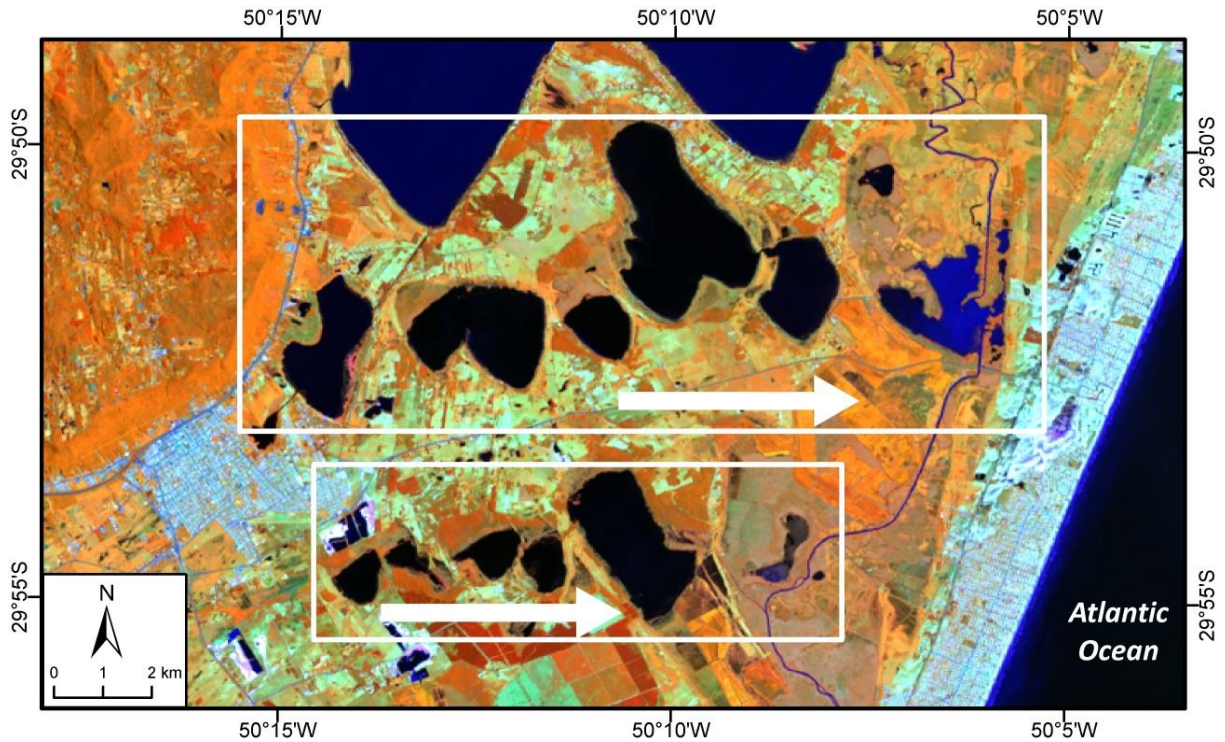


Figura 4. Algumas das lagoas na região de Osório estão dispostas de modo alinhado quase perpendicularmente à linha de costa do Oceano Atlântico. As setas indicam a drenagem no sentido oeste-leste. Imagem de satélite Landsat 8, de 25 de Julho de 2014, composição falsa-cor.

Estas linhas de lagoas são delimitadas, em suas margens norte a sul, por barreiras pleistocênicas do sistema III e intercaladas por depósitos lagunares holocênicos do sistema IV (TOMAZELLI et al., 1984; CPRM, 2007; TOMAZELLI e DILLENBURG, 2007; VIERO e SILVA, 2010) (Figura 5). Deste modo, elas não pertencem à seqüência de lagoas alinhadas ao litoral, chamada por Delaney (1960) de “Rosário de Lagoas” (SCHÄFER, 1992a).



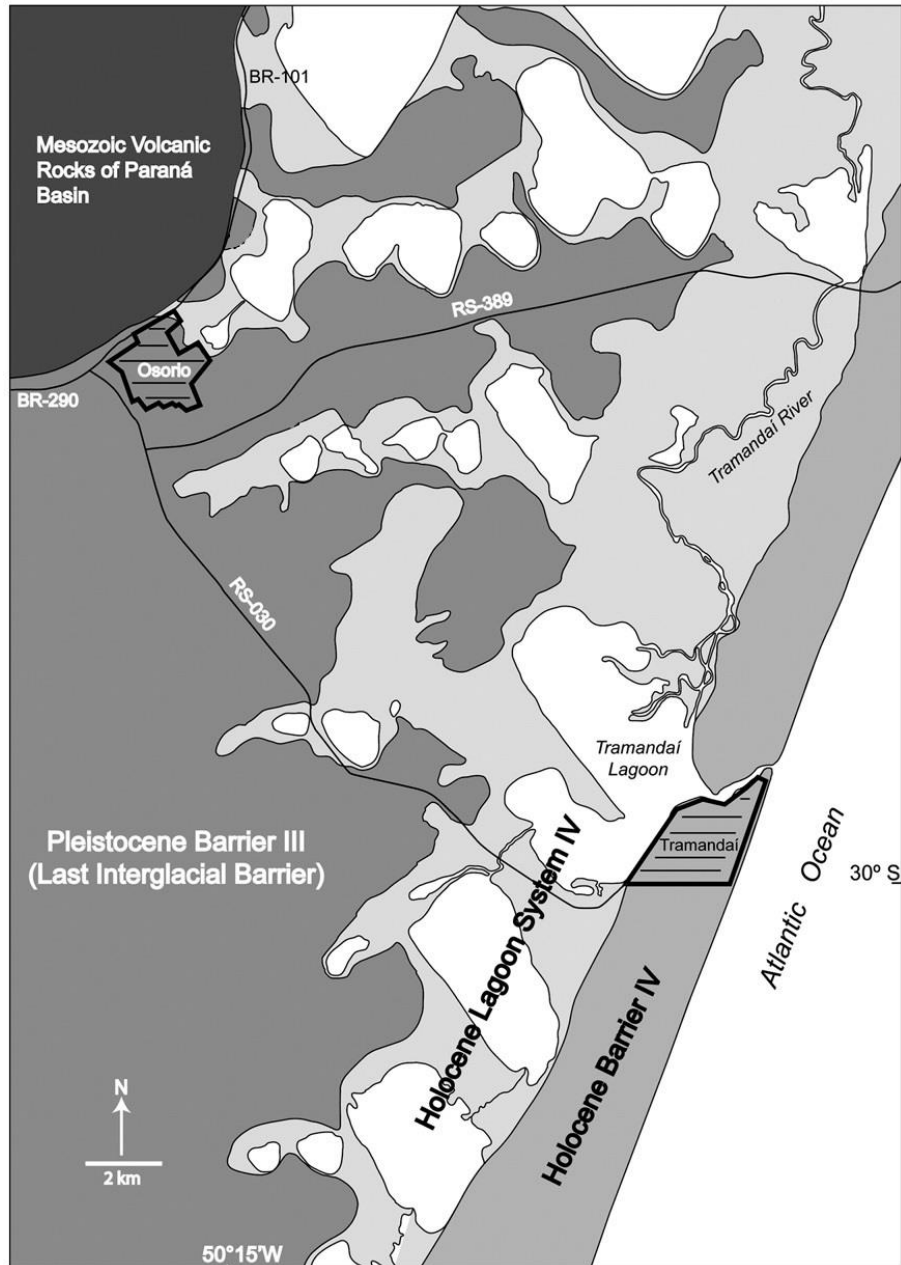


Figura 5. Mapa geológico simplificado da região de Osório e Tramandaí, norte da PCRS (adaptado de TOMAZELLI e DILLENBURG, 2007).

### 3.2 MORFOLOGIA E PROCESSOS ECOLÓGICOS

O estudo da morfologia do lago é fundamental, não apenas para o conhecimento do seu formato, mas também para a compreensão do ecossistema lacustre e dos processos internos de transporte, sedimentação, ressuspensão, mistura, difusão, armazenamento e liberação de nutrientes (HÅKANSON e PETERS, 1995; HÅKANSON, 2005b). Estes processos exercem influência na produção primária, no fitoplâncton, no zooplâncton e no zoobentos, bem como na distribuição das comunidades de macrófitas e peixes (SCHWARZBOLD, 1982;

HÅKANSON, 1982, 2005a; BLAIS e KALFF, 1995; FANTIN-CRUZ et al., 2008; NÖGES, 2009; LIU et al., 2010, 2011; LAWNICZAK et al., 2011; STEFANIDIS e PAPASTERGIADOU, 2012; MURDOCH e POWER, 2013; KOLADA, 2014).

Thienemann (1927) já havia associado a morfologia com a classificação do estado trófico, classificando lagos rasos como eutróficos (ricos em nutrientes) e lagos profundos como oligotróficos (pobres em nutrientes). Isto é devido ao fato de que lagos rasos geralmente têm maior camada produtiva do que lagos profundos, desde que a luz não seja um fator limitante, e se aplica à lagoas temperados da Europa e América do Norte.

Lagos rasos são caracterizados pela alta dinâmica de condições ecológica, misturando frequentemente a coluna de água e raramente é observada estratificação (WETZEL, 2001; PADISÁK e REYNOLDS, 2003; SCHEFFER, 2004; CRISMAN et al. 2005). As lagoas costeiras do Rio Grande do Sul possuem baixa profundidade e apresentam diferentes graus de trofia (SCHÄFER, 1988, 1992a, 1992b, SCHÄFER et al., 2009a, 2009b, AHLERT et al., 2013; SCHÄFER, 2013b). Pela proximidade com o Oceano Atlântico, as lagoas costeiras estão expostas à ação de ventos regulares (MORENO, 1961; TOMAZELLI, 1993). O vento promove a mistura da coluna de água e influencia o balanço de nutrientes, a taxa de eutrofização e a distribuição de macrófitas (HÅKANSON, 1977, 1981b; NIXDORF e DENEKE, 1997; HÅKANSON et al., 2004; WEITHOFF et al., 2010). O vento é, também, um importante agente na segmentação do lago (ZENKOWITCH, 1959; BARNES, 1980; LEES e COOK, 1991; ASHTON, 2009; UDA et al., 2012; UDA et al., 2013; MARCHETT et al., 2012; SERIZAWA, 2016) (Figura 6).

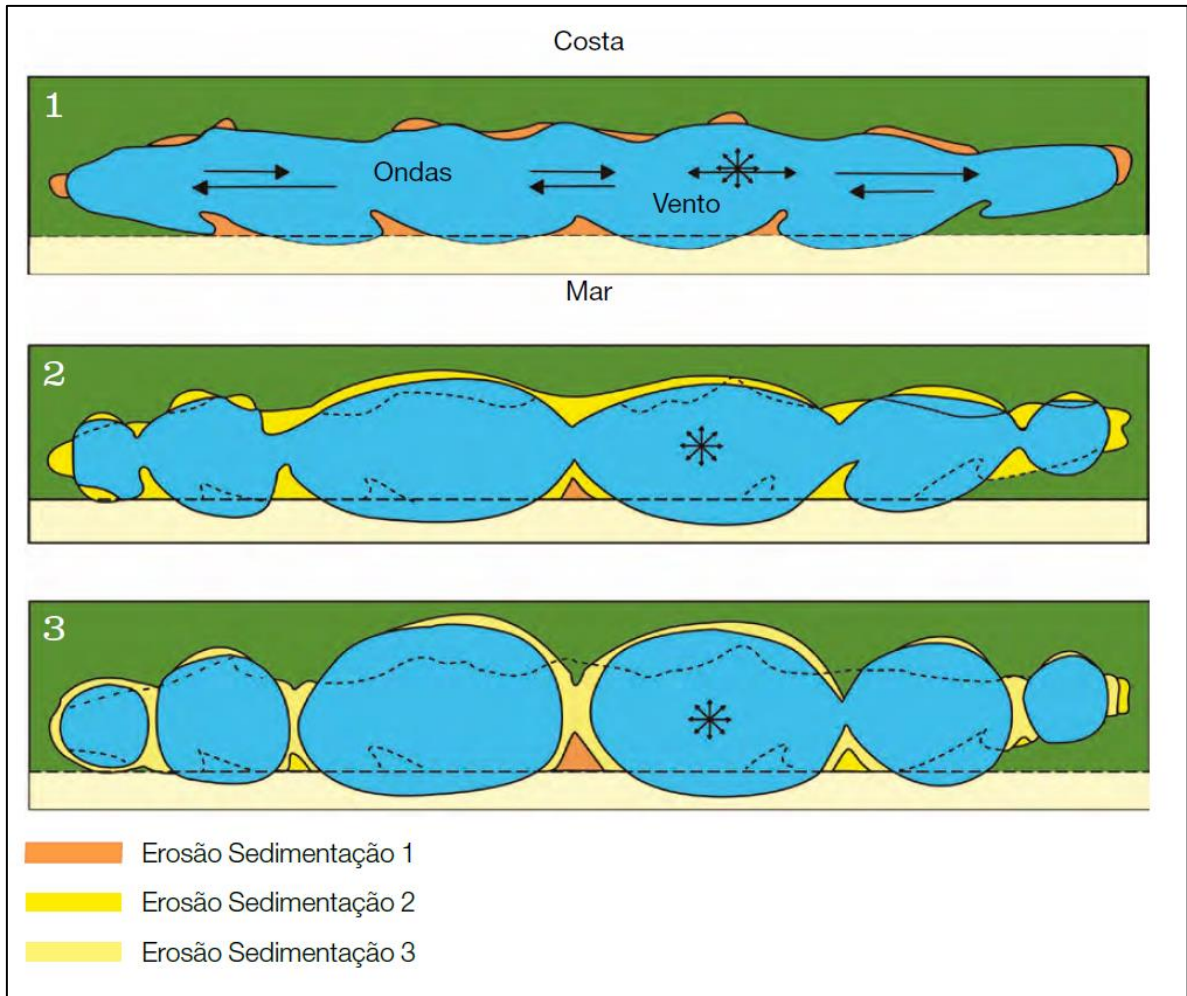


Figura 6. Tendência de segmentação em lagos costeiros devido à exposição aos ventos marítimos e circulações do corpo de água (adaptado de ZENKOWITCH, 1959).

As lagoas na planície costeira do Rio Grande do Sul diferem-se no formato. No litoral médio, as lagoas apresentam superfície assimétrica. Dunas migratórias avançam pela margem leste e formam declives com substrato muito instável, impedindo o estabelecimento de macrófitas. Nas margens com baixa declividade estabelecem-se bancos de macrófitas e banhados (SCHWARZBOLD, 1982; SCHÄFER et al., 2009a; MARCHETT et al., 2012; AHLERT et al., 2013; SCHÄFER e MARCHETT, 2013). Já as lagoas do norte e do sul possuem formato mais regular, similar a painéis e sem a influência das dunas. Sendo assim, grandes áreas de bancos de macrófitas e banhados circundam as lagoas e o intenso desenvolvimento de biomassa leva à perda do volume do corpo de água por colmatagem (SCHWARZBOLD e SCHÄFER, 1984; SCHÄFER, 1992a; SCHÄFER, 2013c).

### 3.3 MORFOLOGIA E MORFOMETRIA

Enquanto a morfologia significa o estudo da forma, elementos de gênese (do ponto de vista geográfico e geológico) e seu papel em uma perspectiva física ampla, a morfometria objetiva a quantificação e medição destas formas e elementos (HÅKANSON, 1981a).

Os parâmetros morfométricos são classificados em diretos e indiretos. Parâmetros diretos são medidos diretamente a campo ou derivados de imagens de satélite. Parâmetros indiretos são derivados dos parâmetros diretos (HUTCHINSON, 1957; HÅKANSON, 1981a; SCHÄFER, 1985; von SPERLING, 1999; WETZEL, 2001).

#### 3.3.1 Parâmetros diretos

A profundidade máxima é obtida a campo por batimetria e os parâmetros área, comprimento e largura são obtidos por imagens de satélite.

A profundidade máxima ( $z_{\max}$ ) é o ponto mais fundo do corpo de água. Este é um dos parâmetros mais importantes, utilizado para a classificação de corpos de água pela profundidade, como na classificação de lagos da região de Berlin-Brandenburg, onde foram considerados lagos rasos aqueles com profundidade menor que 5 metros e lagos profundos os com profundidade maior que 15 metros (NIXDORF e DENEKE, 1997).

Frequentemente a profundidade máxima pode não ser representativa da profundidade geral de um lago, mas pode ser útil quando relacionada a outros parâmetros. A profundidade máxima e a profundidade média podem estar positivamente correlacionadas, como demonstrado em 60 lagos no Canadá (CHOW-FRASER, 1991).

Área (A) é a medida da superfície de uma lagoa. Comprimento (L) é a linha entre os dois pontos mais distantes nas margens, sem interrupção por terra emersa. Largura (W) é a maior linha que intersecta perpendicularmente o comprimento e conecta dois pontos nas margens, sem interrupção por terra emersa. Perímetro (P) é a extensão da linha de margem.

#### 3.3.2 Parâmetros indiretos

Os parâmetros indiretos são calculados a partir dos parâmetros diretos.

A profundidade média ( $z_{\text{ave}}$ ) representa a profundidade hipotética de um lago com fundo plano e margens verticais. A profundidade média dá uma abordagem geral das

condições de profundidade do lago e permite análises mais aprofundadas, como por exemplo, o balanço de nutrientes (SCHÄFER, 1985).

A aplicação da profundidade média é largamente utilizada no estado trófico e produtividade, uma vez que essas características limnológicas têm geralmente relação inversa (WETZEL, 2001). Este autor cita, também, que a profundidade média tende a ser levemente menor que a metade (46%) da profundidade máxima. Fee (1979) discute a importância do parâmetro morfométrico profundidade média, relacionando-o com a produção primária do lago. Schäfer (1988, 1992b) aplicou parâmetros morfométricos para classificar lagoas na planície costeira no sul do Brasil e relacionou esses parâmetros ao estado trófico, bem como foi estabelecida uma correlação entre a profundidade média e o nível de fósforo, demanda química de oxigênio e transparência dos lagos estudados. A profundidade média pode ser relacionada também às comunidades de zooplâncton, fitoplâncton e o bacterioplâncton, como nos estudos de Kalchev et. al (2004) em lagoas de alta montanha na Bulgária.

A profundidade média é determinada relacionando-se volume e área:

$$z_{ave} = \frac{V}{A}$$

$z_{ave}$  = profundidade média (m)

A = área (km<sup>2</sup>)

V = volume (km<sup>3</sup>)

A razão entre a profundidade média e máxima ( $z_{ave}/z_{max}$ ) mostra quanto a profundidade máxima é representada pela profundidade média. Esta razão varia de 0,2 a 0,75 (SCHÄFER, 1985; von SPERLING, 1999) e é maior em lagos rasos com fundos planos (HUTCHINSON, 1957). Para as lagoas no litoral do Rio Grande do Sul, Schwarzbald e Schäfer (1984) estabeleceram a relação  $z_{ave} = 0.75 z_{max}^{0.83}$ . A razão pode ser representada em porcentagem.

A profundidade relativa ( $z_{rel}$ ) dá a noção de estabilidade de lagos, relacionando área e profundidade máxima. De acordo com Schäfer (1985), se a profundidade relativa é alta (maior que 4%), o lago é considerado profundo e tende a ser mais estável em termos de estratificação térmica e efeito do vento. No sentido contrário, se a profundidade relativa é baixa (abaixo de 2%), o lago é considerado raso, com uma ampla área exposta ao vento e conseqüente mistura da coluna de água.

A profundidade relativa é dada como:

$$z_{rel} = \frac{50 z_{max} \sqrt{\pi}}{\sqrt{A}}$$

$z_{rel}$  = profundidade relativa (%)

$z_{max}$  = profundidade máxima (m)

$A$  = área (m<sup>2</sup>)

O volume (V) de um lago é derivado da forma de sua bacia e calculado através de modelos tridimensionais gerados por programas específicos a partir das profundidades medidas por batimetria e do formato da superfície da lagoa, definido sobre imagens de satélite.

O desenvolvimento do volume ( $D_V$ ) é a relação entre o volume real do lago e o volume de um cone hipotético com profundidade máxima como altura e área do lago como base. Se o desenvolvimento do perímetro é igual a 1,0, a bacia do lago é igual a um cone. Abaixo de 1,0 é menor que um cone e acima de 1,0, a bacia é maior que um cone (COLE, 1975) (figura 7).

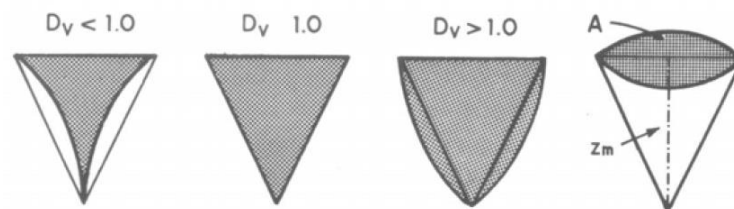


Figura 7. Desenvolvimento do Volume ( $D_V$ ) de acordo com a forma geral do (COLE, 1975).

O desenvolvimento do volume é calculado com a seguinte equação:

$$D_V = 3 \frac{z_{ave}}{z_{max}}$$

$D_V$  = desenvolvimento do volume

$z_{max}$  = profundidade máxima (m)

$z_{ave}$  = profundidade média (m)

O desenvolvimento do perímetro ( $D_P$ ) compara o comprimento do perímetro do lago com o perímetro de um círculo de mesma área. Se o valor resultante é baixo (até 1,5) o lago é

arredondado, uma vez que o valor é muito próximo do valor do círculo (1,0). Um valor elevado (acima de 3,0) indica alta irregularidade do formato do lago, maior extensão relativa das margens e maiores possibilidades para o desenvolvimento de comunidades de macrófitas (SCHÄFER, 1985). O desenvolvimento do perímetro pode, inclusive, ser usado para a avaliação de processos de segmentação (SCHÄFER, 1992a; von SPERLING, 1999)

O desenvolvimento do perímetro é dado por:

$$D_P = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

$D_P$  = desenvolvimento do perímetro

$P$  = perímetro (km)

$A$  = área (km<sup>2</sup>)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

No presente estudo foram estudadas 16 lagoas no município de Osório, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, distribuídas entre as coordenadas  $29^{\circ}43'31''\text{S}$  e  $50^{\circ}3'52''\text{W}$  e as coordenadas  $30^{\circ}6'8''\text{S}$  e  $50^{\circ}27'52''\text{W}$  (Figura 8 e Tabela 1).

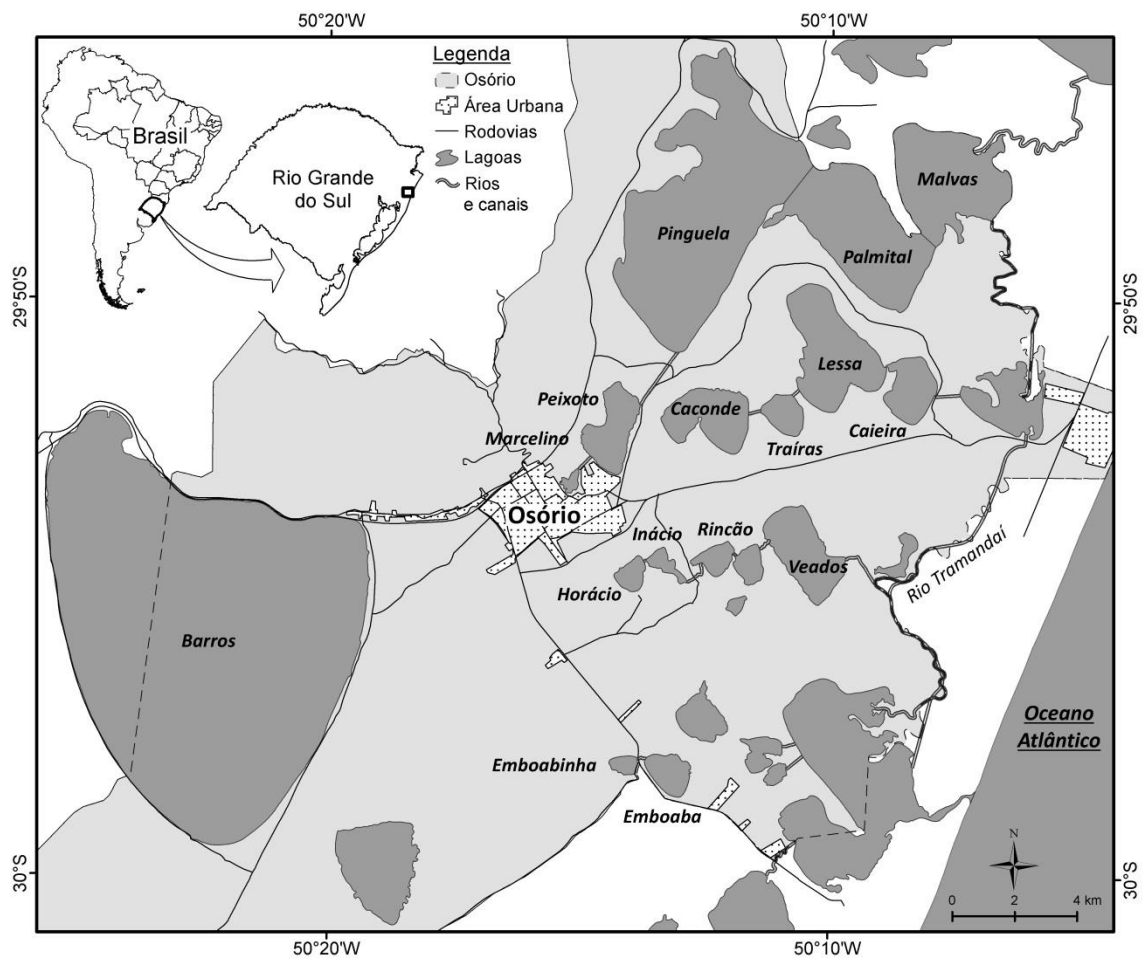


Figura 8. Localização geográfica das lagoas estudadas em Osório, Rio Grande do Sul, Brasil.



Tabela 1. Lagoas estudadas e coordenadas geográficas, datum SIRGAS 2000.

	<b>Lagoa</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
1	Marcelino	29°53'09"S	50°15'09"W
2	Peixoto	29°52'14"S	50°14'20"W
3	Caconde	29°52'01"S	50°12'23"W
4	Traíras	29°51'57"S	50°10'54"W
5	Lessa	29°50'51"S	50°09'59"W
6	Caieira	29°51'31"S	50°08'23"W
7	Horácio	29°54'46"S	50°13'56"W
8	Inácio	29°54'35"S	50°13'15"W
9	Rincão	29°54'29"S	50°12'15"W
10	Veados	29°54'21"S	50°10'30"W
11	Emboaba	29°58'12"S	50°13'10"W
12	Emboabinha	29°58'03"S	50°14'03"W
13	Pinguela	29°48'23"S	50°12'32"W
14	Palmital	29°48'48"S	50°09'25"W
15	Malvas	29°47'51"S	50°07'41"W
16	Barros	29°55'46"S	50°22'31"W

As lagoas estão inseridas na bacia hidrográfica do Rio Tramandaí, com exceção da Lagoa dos Barros (SCHWARZBOLD e SCHÄFER, 1984; PEDROZO e ROCHA, 2007; de CASTRO e MELLO, 2013).

De acordo com a classificação climática de Köppen de 1948, a área de estudo é classificada como Cfa, uma zona temperada úmida com precipitações regulares durante todo o ano (MORENO, 1961).

O vento nordeste é dominante durante todo o ano, embora mais ativo nos períodos da primavera e verão. O vento sudoeste é secundário e mais frequente no inverno (MORENO, 1961; TOMAZELLI, 1993).

#### 4.2 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Os parâmetros morfométricos utilizados para descrever as lagoas foram baseados em Hutchinson (1957) e apoiados por Håkanson (1981a), Schäfer (1985), von Sperling (1999) e Wetzel (2001) (tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros morfométricos utilizados no estudo.

	<b>Parâmetro</b>	<b>Nome em inglês</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Unidade</b>	<b>Tipo</b>
1	Profundidade máxima	Maximum depth	$Z_{max}$	m	direto
2	Área	Area	A	km <sup>2</sup>	direto
3	Perímetro	Perimeter	P	km	direto
4	Volume	Volume	V	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	indireto
5	Comprimento	Length	L	km	direto
6	Largura	Width	W	km	direto
7	Profundidade média	Average depth	$Z_{ave}$	m	indireto
8	Profundidade relativa	Relative depth	$Z_{rel}$	%	indireto
9	Desenvolvimento do volume	Volume development	$D_V$	-	indireto
10	Desenvolvimento do perímetro	Perimeter development	$D_P$	-	indireto

#### 4.2.1 Parâmetros diretos

A profundidade máxima foi obtida a campo por batimetria e os parâmetros profundidade máxima, área, comprimento e largura pela análise de imagens de satélite.

Foi utilizada uma imagem LANDSAT 8 OLI, disponibilizada pelo *United States Geological Survey* (USGS), datada de 30 de Janeiro de 2014, com resolução espacial de 30 metros. A imagem foi selecionada evitando-se períodos em que as margens pudessem mostrar variações excessivas do nível de água. A imagem foi preparada no programa Envi 4.8 (ITT Visual Information Solutions) e geradas diferentes composições de cores, sendo que a composição infra-vermelho uso do solo se mostrou mais útil por permitir a melhor distinção entre água, terra e vegetação.

As imagens foram exportadas para o software ArcGIS 10 (Esri Inc.) para a obtenção das medidas de área, perímetro, comprimento e largura.

#### 4.2.2 Parâmetros indiretos

O volume foi calculado a partir de modelos tridimensionais, gerados no programa Surfer 8 (Golden Software Inc.), usando as profundidade coletadas por batimetria e o formato da margem da lagoa, determinado no programa ArcGIS 10 (Esri Inc.) sobre imagem de satélite.

O desenvolvimento do volume foi calculado através da seguinte equação:

$$D_V = 3 \frac{z_{ave}}{z_{max}}$$

A profundidade média foi calculada através da seguinte equação:

$$z_{ave} = \frac{V}{A}$$

A profundidade relativa foi calculada através da seguinte equação:

$$z_{rel} = \frac{50 z_{max} \sqrt{\pi}}{\sqrt{A}}$$

O desenvolvimento do perímetro foi calculado através da seguinte equação:

$$D_P = \frac{P}{2 \sqrt{\pi A}}$$

### 4.3 BATIMETRIA

As profundidades da lagoa foram obtidas com o uso do ecobatímetro 500c FishElite Eagle (Lowrance Electronics Inc.), o qual relaciona a profundidade medida por um transdutor de frequência simples com as coordenadas fornecidas por um receptor GPS acoplado (acurácia média de 5m). O transdutor foi fixado ao barco 0,2 m abaixo da linha da água, a fim de evitar interferências da ondulação. Este valor foi posteriormente acrescido à profundidade medida.

Os dados (profundidade e respectivas coordenadas) foram armazenados automaticamente pelo ecobatímetro durante o trabalho de campo. As gravações foram coletadas no intervalo de 3 segundos e o barco foi conduzido à velocidade média de 15 km/h. A rota de amostragem iniciou com uma volta completa o mais paralelo possível da margem, seguida de amostragem por toda a extensão da lagoa.

A batimetria foi realizada nos anos 2013, 2014 e 2015 (tabela 3). Sempre que possível, o levantamento batimétrico foi realizado em um único dia. Devido ao tamanho do corpo de água, segurança de navegação ou condições atmosféricas, algumas lagoas foram amostradas em mais de um dia, com o menor intervalo de tempo possível entre as amostragens.

Tabela 3. Mês e ano dos levantamentos batimétricos para cada lagoa.

<b>Lagoa</b>	<b>Mês</b>	<b>Ano</b>
Peixoto	Novembro	2013
Marcelino	Outubro	2014
Caconde, Traíras, Lessa, Caieira, Horácio, Inácio, Rincão, Emboabinha	Janeiro	2015
Emboaba	Março	2015
Pinguela, Palmital, Malvas	Abril	2015
Veados	Maior	2015
Barros	Agosto	2015

#### 4.4 SIG, MODELAGEM E MAPEAMENTO

Os dados fornecidos pelo ecobatímetro foram gravados em uma extensão específica do equipamento e exportados pelo programa Sonar Viewer para o programa Excel (Microsoft Corporation), a fim de se eliminar falhas e dados inconsistentes por meio de análise manual. Neste momento foram adicionados os pontos que representam o perímetro da lagoa (linha de costa), com valor zero de profundidade e coordenadas extraídas no programa ArcGIS 10 (Esri Inc.), a partir do formato da lagoa, definido sobre imagem de satélite.

As coordenadas foram convertidas para o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), uma vez que o programa Surfer 8 (Golden Software Inc.) utiliza as coordenadas e os valores de profundidade em metros. O programa oferece vários algoritmos de interpolação, dentre os quais o “*Natural Neighbor*” apresentou resultados mais satisfatórios.

O programa Surfer 8 (Golden Software Inc.) proveu os modelos tridimensionais, os mapas batimétricos e o cálculo do volume, tanto o volume total quanto por camadas.

Para todo o trabalho foi adotado o *datum* oficial brasileiro, SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - 2000).

#### 4.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Para a interpretação e discussão dos dados foram aplicados os seguintes procedimentos estatísticos: Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, Coeficiente de Variação e Análise de Cluster pela Distância Euclidiana para a identificação dos grupos morfológicos das lagoas. Os cálculos estatísticos e as representações gráficas foram conduzidos no software IBM SPSS Statistics 21 (IBM Corporation).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS (RBRH)

#### **Preview (RBRH-2017-0098)**

**From:** admin.rbrh@abr.org.br

**To:** cassianomarchett@gmail.com

**CC:** cassianomarchett@gmail.com, smschuh@ucs.br, aschafe1@ucs.br

**Subject:** RBRH, Brazilian Journal of Water Resources - Manuscript ID RBRH-2017-0098

**Body:** 21-Jun-2017

Dear Mr. Marchett:

Your manuscript entitled "Morphological characterization of thirteen lakes in Osório, northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the RBRH, Brazilian Journal of Water Resources.

Your manuscript ID is RBRH-2017-0098.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/rbrh-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/rbrh-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the RBRH, Brazilian Journal of Water Resources.

Sincerely,  
RBRH, Brazilian Journal of Water Resources Editorial Office

**Date Sent:** 21-Jun-2017

## Morphological characterization of thirteen lakes in Osório, northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brasil

### *Caracterização morfológica de 13 lagoas em Osório, norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*

Cassiano Alves Marchett<sup>1</sup>, Sabrina Maurer Schuh<sup>1</sup>, Alois Eduard Schäfer<sup>1</sup>

Universidade de Caxias do Sul – UCS, Caxias do Sul, RS, Brazil  
E-mails: cassianomarchett@gmail.com (CAM), smschuh@ucs.br (SMS), aschafe@ucs.br (AES)

---

#### ABSTRACT

The present study aimed to morphologically characterize 13 lakes in Osório, northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. Bathymetric surveys were conducted between 2013 and 2015 based on echo sounder coupled with GPS and application of remote sensing and GIS. Cluster analysis distinguished four morphological lake groups, confirmed by Discriminant Analysis. Principal Component Analysis identified the first component positively charged with parameters of size and negatively charged with relative depth, while the second component was positively charged with maximum and average depths and negatively charged with perimeter development and volume development. Therefore, size has proven to be a more important factor for the lakes classification than depth parameters. The coastal lakes shallowness (maximum depth = 4.6 m, largest average depth = 2.2 m) is a fundamental element for water resources management, since their low volume and small size make them more susceptible to eutrophication processes. Morphological data are essential to lakes ecological understanding, especially if associated with analysis of transparency, turbidity, vertical distribution of nutrients and oxygen and application of trophic indexes.

**Keywords:** coastal lakes, morphology, coastal plain, Rio Grande do Sul, Brazil.

#### RESUMO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar morfológicamente 13 lagoas no município de Osório, norte da planície costeira do Rio Grande do Sul. Os levantamentos batimétricos foram realizados entre 2013 e 2015 com o uso de ecobatímetro acoplado de GPS e aplicação de sensoriamento remoto e SIG. A análise de Cluster distinguiu quatro grupos morfológicos, confirmados pela Análise Discriminante. A análise de componentes principais identificou o primeiro componente com carga positiva para parâmetros de tamanho e carga negativa para a profundidade relativa, enquanto o segundo componente apresentou carga positiva para as profundidades máxima e média e carga negativa para o desenvolvimento do perímetro e desenvolvimento do volume. O tamanho mostrou ser, portanto, fator mais importante na classificação das lagoas do que parâmetros de profundidade. A baixa profundidade das lagoas estudadas (profundidade máxima = 4,6 m, maior profundidade média = 2,2 m) é elemento fundamental na gestão dos recursos hídricos, uma vez que o baixo volume e pequeno tamanho tornarem as lagoas rasas mais suscetíveis a processos de eutrofização. Dados morfológicos são essenciais para a compreensão ecológica, especialmente quando associados a análises de transparência, turbidez, distribuição vertical de nutrientes e oxigênio e aplicação de índices tróficos.

**Palavras-chave:** lagoas costeiras, morfologia, planície costeira, Rio Grande do Sul, Brasil.

## INTRODUCTION

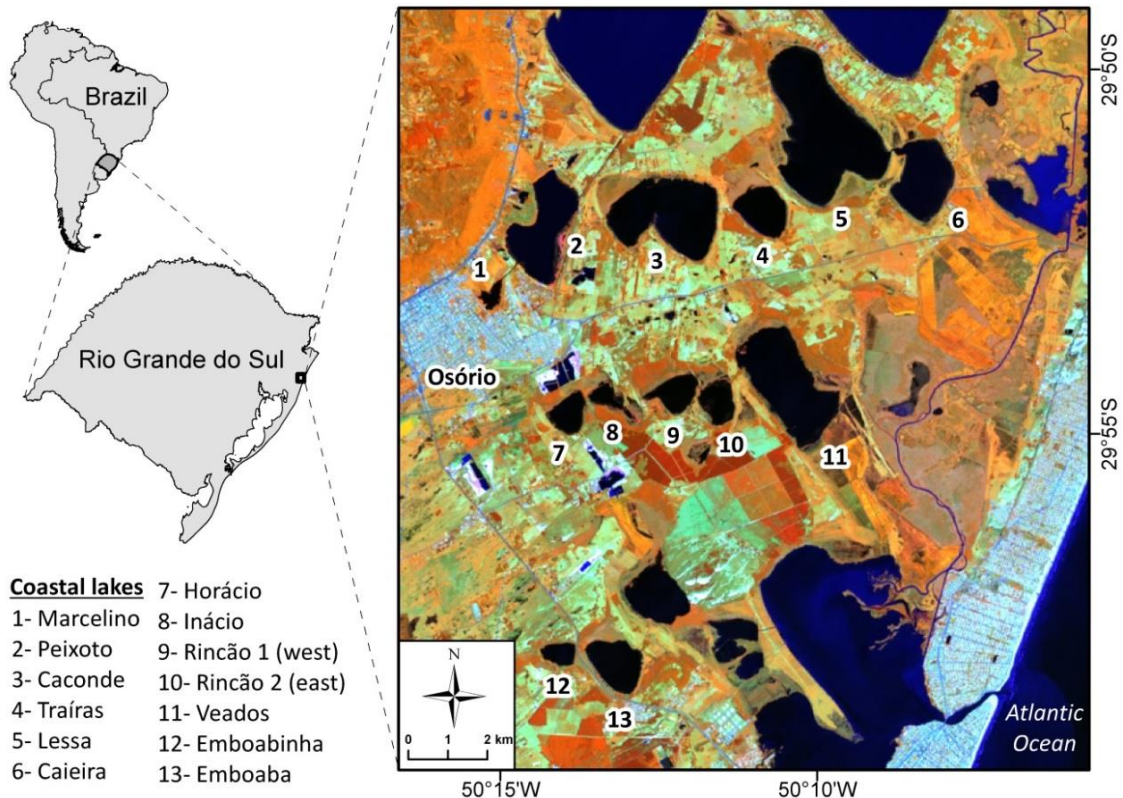
Studies in limnology often aim to search out general factors that explain why lakes differ in fundamental properties, such as nutrient and trophic levels (Håkanson; Peters, 1995). The study of lake morphology is essential not only because of the knowledge generated about its shape, but also to gain a better understanding on the internal processes, structuring of strata, nutrients transport and biological communities distribution (Håkanson, 1982, 2005b; Fee, 1979; Blais; Kalff, 1995; Fantin-Cruz; Loverde-Oliveira; Girard, 2008; Nöges, 2009; Liu; Zhang; Liu, 2010, 2011; Lawniczak; Choinski; Kurzyca, 2011; Stefanidis; Papastergiadou, 2012; Murdoch; Power, 2013; Kolada, 2014). Thienemann (1927) already established that morphology is important for the classification of lakes trophic state, ranking shallow lakes as eutrophic and deep lakes as oligotrophic. This is due to the fact that shallow lakes usually have a greater productive layer than deep lakes, if they are not limited by light (Magyar et al., 2013). Shallow lakes are characterized by highly dynamic ecological conditions, constant mixing of the water column and rare stratification (Wetzel, 2001; Padiśák; Reynolds, 2003; Scheffer, 2004; Crisman; Mitraki; Zalidis, 2005). The coastal plain of Rio Grande do Sul was formed by erosion and deposition processes during marine transgressions and regressions in the Pleistocene and Holocene epochs, associated with fluvial and wind erosion, which formed four depositional systems, so called barriers-lagoon.

Systems I to III were originated during Pleistocene and system IV in the Holocene (Schwarzbold and Schäfer, 1984; Villwock et al., 1986; Tomazelli; Dillenburg; Villwock, 2000, Dillenburg; Esteves; Tomazelli, 2004). Throughout the entire region there are about 100 freshwater lakes. Due to their genesis, they are characterized by low depths and proximity to the Atlantic Ocean, which causes a very strong influence of northeastern winds (Schäfer; Marchett, 2013). This exposure has a decisive influence on nutrient balance, eutrophication rate, banks structure and water bodies' siltation (Håkanson, 1977, Schäfer, 1992). The first morphological classification of Rio Grande do Sul freshwater coastal lakes was performed between 1979 and 1983. It included 48 lakes along the entire coast, some of them in the region of Osório (Schwarzbold; Schäfer, 1984, Schäfer, 1985, Schäfer, 1988, 1992). The aim of this work was to describe the morphological features of 13 coastal lakes in Osório, Rio Grande do Sul, Brazil, based on GPS oriented echo sounder measurements, remote sensing, GIS applications and statistical data processing.

## MATERIAL AND METHODS

### Study area

The study area comprises 13 lakes located in the region of Osório, northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil (figure 1, table 1).



**Figure 1.** Geographic location of the studied lakes in Osório, Rio Grande do Sul, Brazil.

**Table 1.** Studied lakes and geographic coordinates, SIRGAS2000.

	Lake	Latitude	Longitude
1	Marcelino	29°53'09"S	50°15'09"W
2	Peixoto	29°52'14"S	50°14'20"W
3	Caconde	29°52'01"S	50°12'23"W
4	Traíras	29°51'57"S	50°10'54"W
5	Lessa	29°50'51"S	50°09'59"W
6	Caieira	29°51'31"S	50°08'23"W
7	Horácio	29°54'46"S	50°13'56"W
8	Inácio	29°54'35"S	50°13'15"W
9	Rincão 1 (West)	29°54'29"S	50°12'15"W
10	Rincão 2 (East)	29°54'35"S	50°11'36"W
11	Veados	29°54'21"S	50°10'30"W
12	Emboaba	29°58'12"S	50°13'10"W
13	Emboabinha	29°58'03"S	50°14'03"W

The lakes are inserted in Tramandaí River Basin (Schwarzbold; Schäfer, 1984, Pedrozo; Rocha, 2007, Castro; Mello, 2013). According to Köppen's 1948 climate classification, the study area is classified as Cfa type, a humid temperate zone with regular precipitations over the year (Moreno, 1961).

### Morphometric parameters

The following morphometric parameters were used to characterize the coastal lakes: area (km<sup>2</sup>), maximum depth (m), average depth (m), relative depth (%), volume (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>), volume development, perimeter (km), perimeter development, length (km) and width (km). Area, length, width and perimeter were obtained by remote sensing, depth measures were assessed by echo bathymetry and volume was calculated by computational modeling. The morphometric parameters were based on Hutchinson (1957) and supported by Håkanson (1981), Schäfer (1985), von Sperling (1999) and Wetzel (2001).

### Echo bathymetry

Field samplings were performed from November 2013 to May 2015 (table 2). Depth parameters were measured with a single-frequency echo sounder 500c Fish Elite Eagle (Lowrance Electronics Inc.), which relates the depth and geographic position through an associated GPS receiver. The survey started at lake shores and proceeded to cover the whole surface. Depth data and its positioning were automatically stored in digital format by the echo sounder. The depth profiles were analyzed in Sonar Viewer 1.2.2 software and organized in Excel.

**Table 2.** Chronogram of the bathymetric sampling.

Lake	Year	Month
Peixoto	2013	November
Marcelino	2014	October
Caconde, Traíras, Lessa, Caieira, Horácio, Inácio, Rincão 1, Rincão 2, Emboabinha	2015	January
Emboaba	2015	March
Veados	2015	May

### Remote sensing and GIS processing

Visual interpretation of LANDSAT 8 satellite images, provided by the United States Geological Survey (USGS), was performed to obtain the lakes shape and planimetric parameters. A scene from January 30, 2014 was selected and prepared in ENVI 4.5 software as false color composition (RGB 546) and band 5. The images were exported to ArcGIS 10 software, in order to obtain area, perimeter, length and width measures. 3D models were generated using natural neighbor method in Surfer 8.0 software, which was also used to produce bathymetric maps and calculate the lakes volumes.

### Statistical treatment of data

The following statistical procedures were applied: Coefficient of Variation; Cluster Analysis (UPGMA, Euclidean Distance) was performed to identify morphological lake groups; a Discriminant Analysis was also carried out to verify the Cluster Analysis results and identify the main morphological parameters responsible for the clustering; Analyses of Pearson Correlation, Regression and Principal Component Analysis (PCA) were performed to identify groups of correlated parameters. Statistical calculations and graphical presentations were processed by IBM SPSS Statistics 21 software.

## RESULTS

The morphological parameters evaluated are shown in Table 3. All 13 lakes are associated with the Holocene lagoon-barrier system IV. Although they have the same geological origin and age, approximately 5,500 years, they present a high diversity of morphological features.

### Morphometric differentiation of the coastal lakes

A greater variation can be observed in parameters concerning size, with the highest difference factors in volume and area (table 4). This indicates that morphological differentiation is more related to size and volume than to depths or derivate parameters (figure 2).

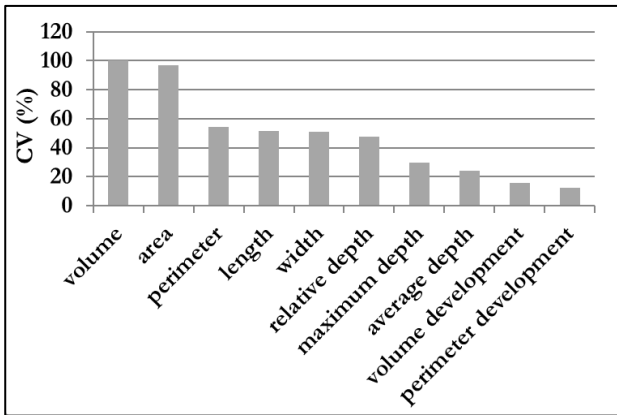


**Table 3.** Morphometric data of 13 coastal lakes in Osório, Rio Grande do Sul, Brazil.

Lake	Maximum Depth (m)	Area (km <sup>2</sup> )	Perimeter (km)	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Length (km)	Width (km)	Average Depth (m)	Relative Depth (%)	Volume Development	Perimeter Development
Marcelino	1.2	0.27	2.76	0.19	0.86	0.58	0.7	0.21	1.80	1.51
Peixoto	2.7	2.99	8.13	4.90	2.99	1.53	1.6	0.14	1.82	1.33
Caconde	4.6	4.07	9.43	8.90	2.86	2.16	2.2	0.20	1.43	1.32
Traíras	2.5	1.29	4.27	2.21	1.5	1.15	1.7	0.20	2.06	1.06
Lessa	2.9	7.29	12.80	9.99	4.19	2.93	1.4	0.10	1.42	1.34
Caieira	2.0	2.53	6.66	3.28	2.19	1.53	1.3	0.11	1.94	1.18
Horácio	2.7	0.74	3.37	1.04	1.18	0.95	1.4	0.28	1.56	1.11
Inácio	2.3	0.55	4.02	0.70	1.47	0.73	1.3	0.27	1.66	1.53
Rincão 1 (West)	2.6	0.87	4.05	0.95	1.47	0.93	1.1	0.25	1.26	1.22
Rincão 2 (East)	2.7	0.86	3.65	1.09	1.34	1.00	1.3	0.26	1.40	1.11
Veados	2.2	4.42	9.04	6.71	3.24	1.93	1.5	0.09	2.07	1.21
Emboaba	2.8	1.43	4.74	2.31	1.66	1.20	1.6	0.21	1.74	1.12
Emboabinha	3.6	0.44	2.57	0.68	0.93	0.66	1.6	0.48	1.29	1.10

**Table 4.** Minimum and maximum values, difference factor, lake with minimum value, lake with maximum value and coefficient of variation (CV) of 10 morphometric parameters from 13 coastal lakes in Osório, Rio Grande do Sul, Brazil. Max = maximum value; Min = minimum value; Lake Max = lake with the maximum value; Lake Min = lake with the minimum value; CV = Coefficient of variation.

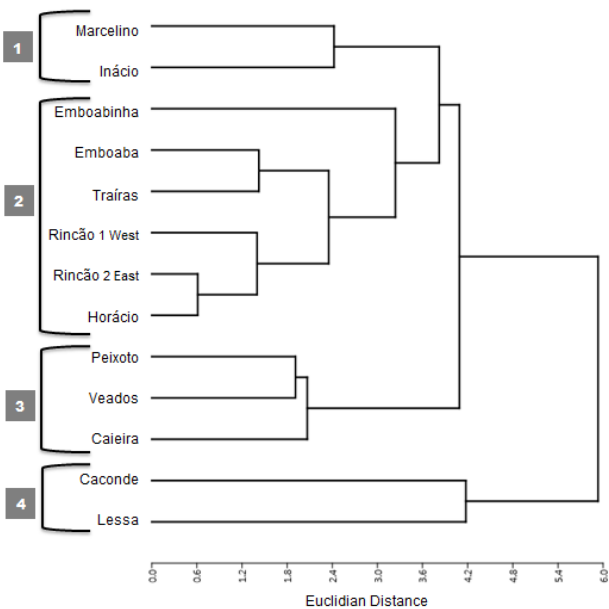
Parameter	Max	Min	Difference Factor	Lake Max	Lake Min	CV
Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	10.0	0.19	53	Lessa	Marcelino	100
Area (km <sup>2</sup> )	7.3	0.27	27	Lessa	Marcelino	97
Perimeter (km)	12.8	2.6	5.0	Lessa	Emboabinha	54
Length (km)	4.2	0.9	4.9	Lessa	Marcelino	51
Width (km)	2.9	0.6	5.1	Lessa	Marcelino	51
Relative depth (%)	0.48	0.09	5.3	Emboabinha	Veados	48
Maximum depth (m)	4.6	1.2	3.8	Caconde	Marcelino	30
Average depth (m)	2.2	0.7	3.1	Caconde	Marcelino	24
Volume development	2.07	1.26	1.6	Veados	Rincão 1 (W)	16
Perimeter development	1.53	1.06	1.4	Inácio	Traíras	12



**Figure 2.** Coefficient of Variation (CV) of 13 coastal lakes in Osório, Rio Grande do Sul, Brazil.

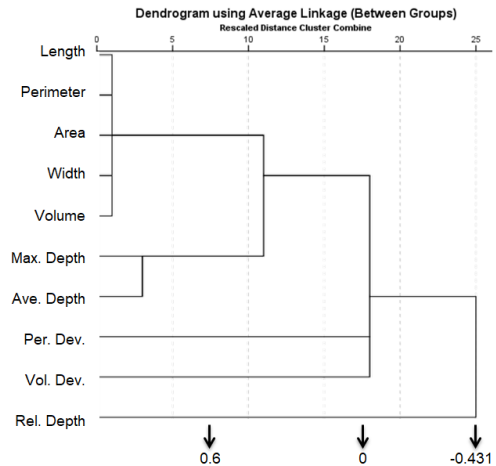
**Cluster Analysis**

In order to morphologically characterize the lakes, a cluster analysis was carried out to identify lake groups using the Euclidian Distance method (figure 3). The morphometric parameters were standardized (Z scores) to minimize scale differences. The Cluster Analysis revealed four groups, distinguished by size, shape and depth: Group 1 was composed by very small, shallow and irregular shaped lakes; Group 2 comprises small, shallow and rounded lakes; in Group 3 the lakes are large, shallow and irregularly shaped and Group 4 consists of large, deep and irregular shaped lakes.



**Figure 3.** Dendrogram of morphological groups for 13 coastal lakes in Osório, Rio Grande do Sul, Brazil, using standardized parameters and Euclidian Distance. The numbers indicate the delimited groups. Type 1: very small, shallow and very irregular shaped lakes; Type 2: small, shallow and rounded lakes; Type 3: large, shallow and irregular shaped lakes; Type 4: large, deep and irregular shaped lakes.

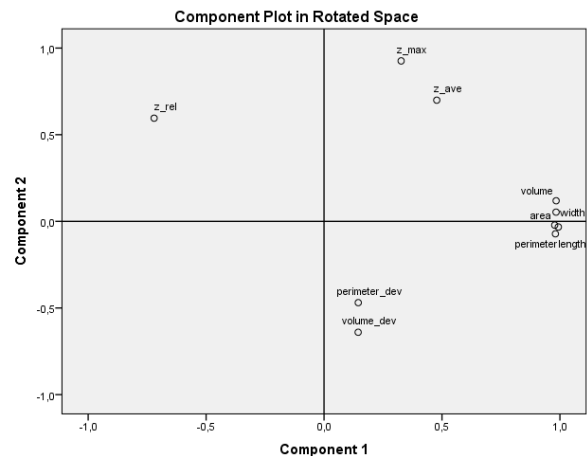
Pearson Correlation analysis was performed in order to identify correlations among the parameters used to define the groups (Figure 4). Pearson correlation analysis showed that parameters related to size (perimeter, length, area, width and volume) were closely associated, while relative depth was negatively correlated to other parameters.



**Figure 4.** Dendrogram of parameters used to differentiate the morphological groups, using Pearson Correlation. The significant correlation occurs with  $R > 0.6$  (Degrees of freedom = 9;  $\alpha = 0.05$ ).

**Principal Component Analysis (PCA)**

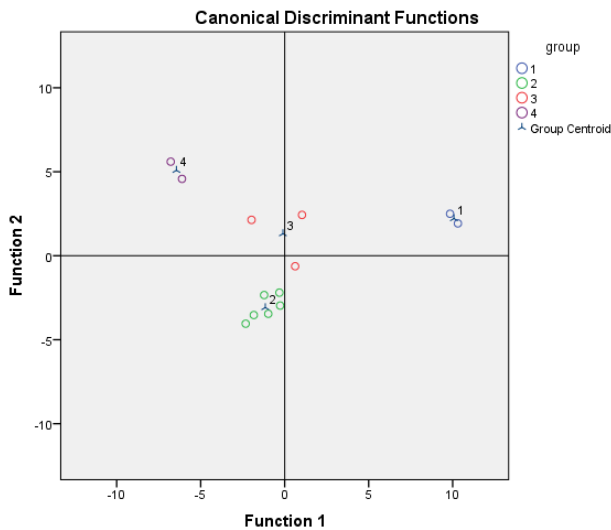
The Principal Component Analysis (PCA) (figure 5) extracted three significant factors. The first axis (57.4%) showed that size parameters (area, volume, length, width and perimeter) were positively correlated among themselves and negatively related to relative depth. The second axis (23.5%) represents maximum depth and volume development. The third component (11.6%) is related to average depth and perimeter development.



**Figure 5.** Principal Component Analysis of 10 morphometric parameters from 13 coastal lakes in Osório, Rio Grande do Sul, Brazil. ( $z_{rel}$ : relative depth,  $z_{max}$ : maximum depth,  $z_{ave}$ : average depth,  $perimeter_{dev}$ : perimeter development,  $volume_{dev}$ : volume development),  $z_{ave}$ : average depth,  $perimeter_{dev}$ : perimeter development,  $volume_{dev}$ : volume development).

1 **Discriminant Analysis**

2  
3 A discriminant analysis was performed to  
4 determine the explanatory percentage of each parameter in  
5 the segregation of different lake types. The groups created  
6 in Cluster Analysis were confirmed by Discriminant  
7 Analysis (figure 6). Volume, perimeter development and  
8 volume development were identified as the most important  
9 parameters to differentiate the groups. Volume was  
10 responsible for 69.4% of the data variance, while perimeter  
11 development explained 29.2% and volume development  
12 accounted for 1.4%. Since area is an easily extracted  
13 parameter from satellite images, a regression was  
14 performed between area and volume. The analysis showed  
15 a very high correlation, where surface explains 93.0% of  
16 the volume variance ( $r^2 = 0.930$ ,  $p < 0.001$ ). Hence, the  
17 parameter area can be used as an indicator of volume in  
18 the studied lakes.  
19



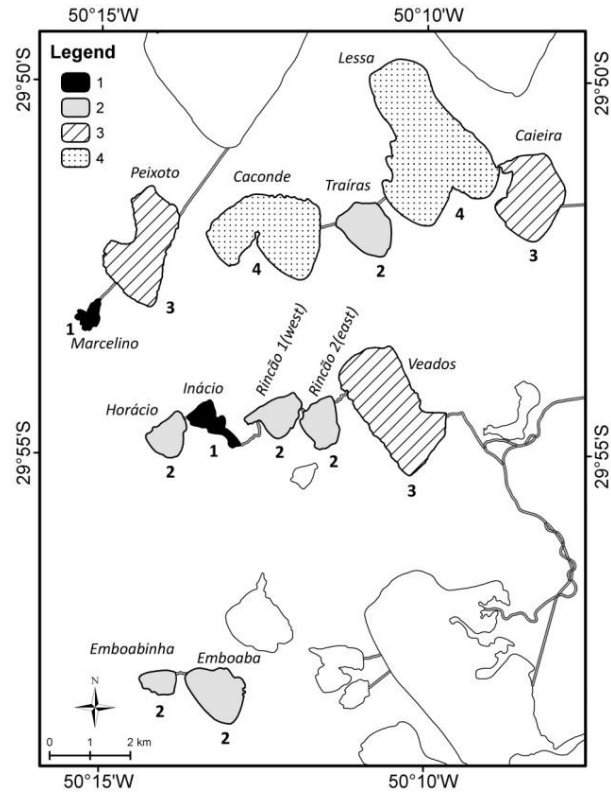
20  
21 **Figure 6.** Ordination of lake groups over the two first  
22 discriminant functions. The first axis is related to volume.  
23 Groups 1 and 4 are arranged on opposite sides because of the  
24 size, respectively small and large, whereas groups 2 and 3 are  
25 intermediate. The second axis represents the perimeter  
26 development. The group 2 represents the rounded lakes while the  
27 others have irregular shape. The group 3 is the most diverse and  
28 weakly related to both axes.  
29

31 **Characterization of the lake types**

32  
33 Table 5 shows the range of values for each  
34 morphological parameter according to lake type.

35 The spatial distribution of the proposed lake types  
36 is displayed on figure 7. All the lakes have, at least, one  
37 connection to another lake through natural or artificial  
38 canals.  
39

40 Each lake type is exemplified by an aerial photo and  
41 a bathymetric map.



42  
43 **Figure 7.** Spatial distribution of the morphological lake types in  
44 the study area. Double lines represent canals. Type 1: very small,  
45 shallow and very irregular shaped lakes; Type 2: small, shallow  
46 and rounded lakes; Type 3 large, shallow lakes and irregular  
47 shaped lakes; Type 4: large, deep lakes and irregular shaped lakes.  
48  
49

50  
51 **Table 5.** Range of morphologic parameters into the lake types.  
52

Parameter	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	0.19 – 0.70	0.68 – 2.31	3.28 – 6.71	8.90 – 9.99
Perimeter development	1.51 – 1.53	1.06 – 1.22	1.18 – 1.33	1.32 – 1.34
Volume development	1.66 – 1.80	1.26 – 2.06	1.82 – 2.07	1.42 – 1.43
Area (km <sup>2</sup> )	0.27 – 0.55	0.44 – 1.43	2.53 – 4.42	4.07 – 7.29
Length (km)	0.86 – 1.47	0.93 – 1.66	2.19 – 3.24	2.86 – 4.19
Width (km)	0.58 – 0.73	0.66 – 1.20	1.53 – 1.93	2.16 – 2.93
Perimeter (km)	2.76 – 4.02	2.57 – 4.74	6.66 – 9.04	9.43 – 12.80
Relative depth (%)	0.21 – 0.27	0.20 – 0.48	0.09 – 0.14	0.10 – 0.20
Maximum depth (m)	1.2 – 2.3	2.5 – 3.6	2.0 – 2.7	2.9 – 4.6
Average depth (m)	0.7 – 1.3	1.1 – 1.7	1.3 – 1.6	1.4 – 2.2

### Type 1 (Lake Marcelino)

Type 1 includes two small, shallow and irregularly shaped lakes (figures 8 and 9). The highest perimeter development (above 1.53) reflects the margins irregularity, which are intensively occupied by aquatic plants. Lake Marcelino is the shallowest studied lake, with maximum depth of 1.2 m and average depth of 70 cm. This is a worrying situation for the lake survival, since about half of its surroundings consist of urban areas. Furthermore, sewage from Osorio city is directly disposed into this lake. Lake Inácio, on the other hand, is quite far from urban areas and surrounded by natural environments, with its banks completely taken by aquatic vegetation. Moreover, maximum depth in this lake reaches 2.3 m, while average depth is low (1.3 m).



Figure 8. Aerial photo of Lake Marcelino.

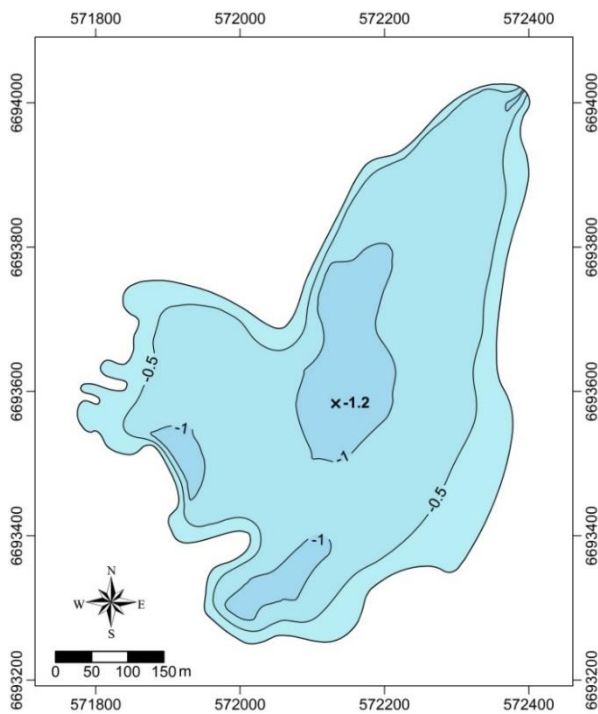


Figure 9. Bathymetric map of Lake Marcelino.

### Type 2 (Lake Traíras)

Six lakes were classified in type 2. They are characterized by being small, shallow, rounded and with low value of perimeter development (figures 10 and 11). Lake Traíras is the most rounded in the study area, with a perimeter development of 1.06. It has a flat bottom, which gives it a high volume development (2.04) and only a small part reaches 2.5 m of depth. Lake Horácio is used as a public bathing place and, even though its maximum depth reaches 2.7 m, the average depth is 1.4 m. Lake Emboaba is used to supply water to the nearby city of Tramandaí during a few months of the year, despite having a lower volume ( $2.31 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) when compared to type 3 and type 4 lakes. Lake Emboabinha was clustered with type 2 lakes, notwithstanding its small size ( $0.44 \text{ m}^2$ ), great depth (3.6 m) and high relative depth (0.48). Lake Rincão can either be considered only one lake or it can be studied as two water bodies, due to an advanced segmentation process. In the scope of this work, Rincão was differentiated in two lakes, identified as Rincão 1 (west) and Rincão 2 (east).



Figure 10. Aerial photo of Lake Traíras.

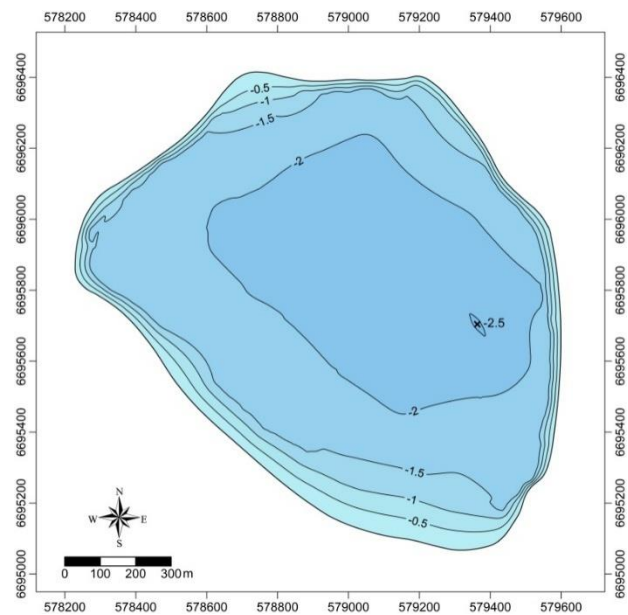


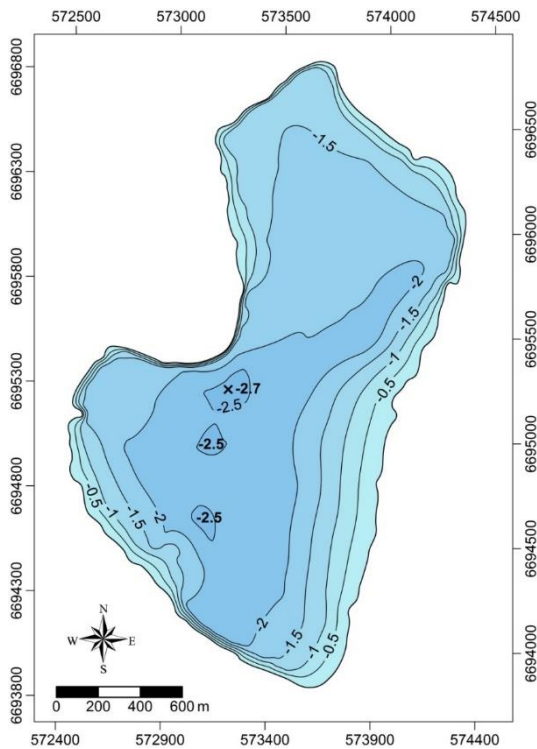
Figure 11. Bathymetric map of Lake Traíras.

**Type 3 (Lake Peixoto)**

Type 3 comprises three large, shallow and irregularly shaped lakes (figures 12 and 13). Their large size and low depth confers them low relative depth and high volume development. Lake Veados has flat bottom and low depth, reflected by the highest volume development (2.05) and the lowest relative depth (0.09) of all studied lakes. Lake Caieira has lower volume than the others lakes of type 3, due to the smaller area (2.53 km<sup>2</sup>) and lower depths (2 m). Lake Peixoto is connected to lakes Marcelino and Pinguela through artificial canals, which are used for aquatic traffic. In this lake, maximum depth reaches 2.7 m, but in its northeastern part, where there is a public bathing place, the depth is smaller than 2 m.



**Figure 12.** Aerial photo of Lake Peixoto.



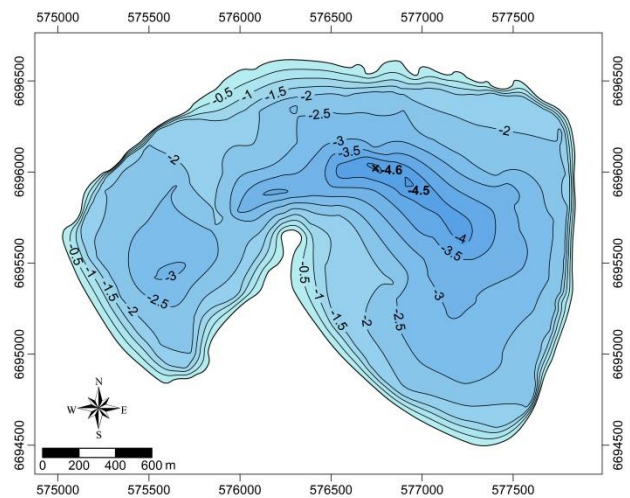
**Figure 13.** Bathymetric map of Lake Peixoto.

**Type 4 (Lake Caconde)**

The two lakes of type 4 are large, deep and irregularly shaped (figures 14 and 15). Volume is the main parameter that characterizes this lake type. Although lakes Lessa and Caconde show the largest volumes of all studied lakes, they have heterogeneous lakebeds and their volume developments are low. Lake Lessa reaches 2.9 m, but its average depth is only 1.4 m. In both lakes, an advance of the southern margins can be observed, evidencing a segmentation process, especially in Lake Caconde, where two basins are distinguishable, one of which shows the highest maximum depth in the study (4.6 m).



**Figure 14.** Aerial photo of Lake Caconde.



**Figure 15.** Bathymetric map of Lake Caconde.

## DISCUSSION

One of the major concerns in limnological works considering broad aspects of the water body is to perform accurate and effective surveys of morphometric data. Earliest surveys lacked cartographic precision due to difficulties in locating sampling points in the lake. The use of echo sounder coupled with GPS increased the accuracy of depth sampling and enabled a review on lake morphology methods (Håkanson, 1981, Bezerra-Neto; Pinto-Coelho, 2008, Bezerra-Neto; Briguenti; Pinto-Coelho, 2010). Satellite image interpretation provides well-defined information on the actual lake surface. Therefore, prediction models quality, apart from ecological aspects, increases as accuracy of morphometric data improves (Håkanson, 2005a, Johansson; Brolin; Håkanson, 2007). Because of its genesis, all studied lakes are shallow (maximum depth = 4.6 m in Lake Caconde). The morphological analysis carried out is relative regarding lake size and depth, therefore suitable for the study area. Five of the 13 lakes have a maximum depth greater than twice the average depth. Typical examples are lakes Caconde and Emboabinha. Lake Emboabinha shows the highest relative depth, as a consequence of having the second smaller area and second largest maximum depth. However, all the lakes have relative depths lower than 0.5%. Relative depth is an indicator of water body dynamics and circulation and a threshold below 2% characterizes an unstable and shallow lake (Wetzel, 1981). The low relative depth and exposure to constant northeastern winds have the effects of mixing the water column, homogenize the nutrients and oxygen distribution and reduce the transparency in the lakes (Schäfer, 1992). These conditions facilitate the settlement of aerobic organisms all over the bottom area. The aerobic sediment is a criterion for oligotrophic lakes, while the usual trophic state assessments indicate higher trophic levels (Schäfer, 2013). The average depth is a critical factor and influences the primary production in most lakes (Fee, 1979, Chow-Fraser, 1991). The low average depth and heterogeneous lakebeds result in small water volumes than would be expected, judging by lake surface areas and maximum depths, as well the lakes present volume development higher than 1.0. Some of the lakes are used as water supply sources and public and private managers often overestimate the lakes volume and water availability. Excessive water withdrawal, especially during summertime, may have negative impacts on rooted macrophytes. Unlike lakes in the middle and southern coasts of Rio Grande do Sul, north coast lakes are not under the influence of dunes and their margins are occupied by aquatic vegetation, mainly by *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Steud. and *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth. The high perimeter development and lake bottom heterogeneity indicate segmentation processes, as seen in lakes Caconde, Lessa and Inácio. Lake Rincão was considered as completely segmented and therefore analyzed as two independent water bodies, connected through a short canal. The studied lakes had high Coefficient of Variation values for parameters regarding size and low values for depth and indirect parameters. The difference factor among the

volume values is 53 (0.19 to 10) while the ratio for the average depth is only 3.1 (0.7 to 2.2). Principal Component Analysis extracted three significant factors, represented by size (Component 1), maximum depth and volume development (Component 2) and average depth and perimeter development (Component 3). Cluster analysis distinguished four groups: Group 1 - very small, shallow and irregular shaped lakes; Group 2 - small, shallow and rounded lakes; Group 3 - large, shallow and irregular shaped lakes; Group 4: large, deep and irregular shaped lakes. Small size, low volume and high relative depth were common characteristics of types 1 and 2, which distinguished them from types 3 and 4. Between types 1 and 2, the main difference can be found in perimeter development (surface shape). The large volume and lower volume development (bottom irregularity) of type 4 differentiates it from type 3. Volume, perimeter development and volume development were the most important parameters for group differentiation in the Discriminant Analysis. Regression analysis between area and volume showed a very high coefficient of determination, where surface explained 93% of volume variance. The differentiation of the lakes in Osório is therefore more related to size and shape than to depth.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank PETROBRAS for sponsoring “Lagoas Costeiras 3” project.

## REFERENCES

- BLAIS, J. M.; KALFF, J. The influence of lake morphometry on sediment focusing. *Limnology and Oceanography*, v. 40, n. 3, p. 582-588, 1995.
- BEZERRA-NETO, J. F.; PINTO-COELHO, R. M. Morphometric study of Lake Dom Helvécio, Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais, Brazil: a re-evaluation. *Acta Limnológica Brasiliensis*, v. 20, p. 161-167, 2008.
- BEZERRA-NETO, J. F., BRIGUENTI, L. S; PINTO-COELHO, R. M. A new morphometric study of Carioca Lake, Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais State, Brazil. *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2010.
- CRISMAN, T. L.; MITRAKI, C.; ZALIDIS, G. Integrating vertical and horizontal approaches for management of shallow lakes and wetlands (Review). *Ecological Engineering*, v. 24, n. 4, p. 379-389, 2005.
- CHOW-FRASER, P. Use of the morphoedaphic index to predict nutrient status and algal biomass in some Canadian

- lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 48, p. 1909-1918, 1991.
- de CASTRO, D.; MELLO, R. S. P. *Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí*. Porto Alegre: Via Sapiens, 2013. 180p.
- DILLENBURG, S. R.; ESTEVES, L. S.; TOMAZELLI, L.J. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 76, n. 3, p. 611-623, 2004.
- FANTIN-CRUZ, I.; LOVERDE-OLIVEIRA, S.; GIRARD, P. Caracterização morfométrica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte. *Acta Ciências Biológicas*, v. 30, n.2, p. 133-140, 2008.
- FEE, E. J. A relation between lake morphometry and primary productivity and its use in interpreting whole lake eutrophication experiments. *Limnology and Oceanography*, v. 24, n. 3, p. 401-416, 1979.
- HÅKANSON, L. Influence of wind, fetch, and water depth on the distribution of sediments in Lake Vanern, Sweden. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 14, n.3, p. 397-412, 1977.
- HÅKANSON, L. *A Manual of Lake Morphometry*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981. 78p.
- HÅKANSON, L. Lake bottom dynamics and morphometry: the dynamic ratio. *Water Resources Research*, v. 18, p. 1444-1450, 1982.
- HÅKANSON, L. The importance of lake morphometry and catchment characteristics in limnology – ranking based on statistical analysis. *Hydrobiologia*, v. 541, p. 117-137. 2005a.
- HÅKANSON, L. The importance of lake morphometry for the structure and function of lakes. *International Review of Hydrobiology*, v. 90, n. 4, p. 433-461. 2005b.
- HÅKANSON, L.; PETERS, R. H. *Predictive Limnology - Methods for Predictive modelling*. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1995. 464p.
- HUTCHINSON, G. E. *A treatise on limnology. v.1. Geography, Physics and Chemistry*. New York: John Wiley & Son, 1957. 1015p.
- JOHANSSON, H.; BROLIN, A. A.; HÅKANSON, L. New approaches to the modeling of lake basin morphometry. *Environmental Modeling and Assessment*, v. 12, n. 3, p. 213-228, 2007.
- KOLADA, A. The effect of lake morphology on aquatic vegetation development and changes under the influence of eutrophication. *Ecological Indicators*, v. 38, p. 282-293, 2014.
- LAWNICZAK, A. E., CHOINSKI, A.; KURZYCA, I. Dynamics of lake morphometry and bathymetry in various hydrological conditions. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 20, n. 4, p. 931-940, 2011.
- LIU, W.; ZHANG, Q.; LIU, G. Lake eutrophication associated with geographic location, lake morphology and climate in China. *Hydrobiologia*, v. 644, n. 1, p. 289-299, 2010.
- LIU, W.; ZHANG, Q.; LIU, G. Effects of watershed land use and lake morphometry on the trophic state of Chinese lakes: implications for eutrophication control. *Clean - Soil, Air, Water*, v. 39, n. 1, p. 35-42, 2011.
- MAGYAR, N.; HATVANI, I. G.; SZÉKELY, I. K.; HERZIG, A.; DINKA, M.; KOVÁCS, J. Application of multivariate statistical methods in determining spatial changes in water quality in the Austrian part of Neusiedler See. *Ecological Engineering*, v. 55, p. 82-92, 2013.
- MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.
- MURDOCH, A.; POWER, M. The effect of lake morphometry on thermal habitat use and growth in Arctic charr populations: Implications for understanding climate-change impacts. *Ecology of Freshwater Fish*, v. 22, n. 3, p. 453-466, 2013.
- NÖGES, T. Relationships between morphometry, geographic location and water quality parameters of European lakes. *Hydrobiologia*, v. 633, n. 1, p. 33-43, 2009.
- PADISÁK, J.; REYNOLDS, C. S. Shallow lakes: the absolute, the relative the functional and the pragmatic. *Hydrobiologia*, 506–509, 1–11, 2003.
- PEDROZO, C. S.; ROCHA, O. Environmental Quality Evaluation of Lakes in the Rio Grande do Sul Coastal Plain. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 50, n. 4, p. 673-685, 2007.
- SCHÄFER, A. *Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais*. Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, 1985. 532p.
- SCHÄFER, A. Tipificação ecológica das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul. *Acta Limnológica Brasiliensia*, vol. 2, p. 29-56, 1988.
- SCHÄFER, A. *Die Küstenseen Südbrasilens. Ein Beitrag zur biogeographischen Raumanalyse der Restinga*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 1992. 203p.
- SCHÄFER, A. Envelhecimento das lagoas. In: SCHÄFER, A., LANZER, R., SCUR, L. (org.). *Atlas socioambiental: municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul*. Caxias do Sul: EDUCS, p.103-106, 2013.

SCHÄFER, A.; MARCHETT, C. A. *Um voo sobre as águas: as lagoas costeiras dos municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul*. 1ed. Caxias do Sul: EDUCS, 2013. 160p.

SCHEFFER, M. *Ecology of Shallow Lakes*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 2004. 357p.

SCHWARZBOLD, A.; SCHÄFER, A. Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul - Brasil. *Amazoniana*, v. 4, n. 1, p. 87-104, 1984.

STEFANIDIS, K.; PAPASTERGIADOU, E. Relationships between lake morphometry, water quality, and aquatic macrophytes, in greeklakes. *Fresenius Environmental Bulletin*, v. 21, n. 10a, p. 3018-3026, 2012.

THIENEMANN, A. Der Bau des Seebeckens in seiner Bedeutung für den Ablauf des Lebens im See. *Verhandlungen der zoologischen und botanischen Gesellschaft*, 77: 87-91, 1927.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; VILLWOCK, J.A. Late quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 3, p. 474-476, 2000.

VILLWOCK, J. A.; DILLENBURG, S. R., GONÇALVES, S. A.; SOUZA, I. F. B. E. Recursos minerais da região costeira e aspectos metodológicos da prospecção. *Acta Geológica Leopoldensia*, v. 22, n. 10, p. 83-110, 1986.

von SPERLING, E. *Morfometria de Lagos e Represas*. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 1999. 137p.

WETZEL, R. G. *Limnology – Lake and River Ecosystems*. 3 ed. San Diego: Academic Press, 2001. 1006p.

#### Author contributions

Cassiano Alves Marchett: work conception, remote sensing analysis and GIS procedures, planning of routes sampling, boat pilot, field working for bathimetric data collection, ecobathymetric device operation, 3D modeling, volume calculation, cartographic material production, statistical analysis, aerial photos, text production.

Sabrina Maurer Schuh: field work for bathimetric data collection, ecobathymetric device operation, preparing of data for 3D modeling, volume calculation, text revision.

Alois Eduard Schäfer: project Lagoas Costeiras 3 coordinator, work orientation, aerial photos, statistical analysis, text revision.



## 5.2 MANUSCRITO DO CAPÍTULO INTITULADO “MORFOLOGIA”

Manuscrito do capítulo intitulado “Morfologia”, integrante da obra “Atlas Socioambiental do Município de Osório”, organizada pelos professores Alois Schäfer, Rosane Lanzer e Luciana Scur, a ser publicada no ano de 2017 pela Editora da Universidade de Caxias do Sul (EDUCS) com o ISBN 978-85-7061-858-0 e ficha catalográfica 504.03(816.5)(084.4).

O capítulo diagramado segue ao final do trabalho como “Anexo A”.

# Morfologia

*Cassiano Alves Marchett, Sabrina Maurer Schuh, Alois Schäfer*



## **Localização**

Ao longo da Planície Costeira do Rio Grande do Sul existem cerca de 100 lagoas separadas do oceano por barreiras decorrentes de processos marinhos, eólicos e fluviais. Devido à sua gênese, essas lagoas são rasas, alcançando poucos metros de profundidade quando comparadas a outros lagos ao redor do mundo. Entre as 23 lagoas de Osório, foram estudadas 16 lagoas.

Tab 1. Localização geográfica das lagoas estudadas

	Nome	Latitude	Longitude
1	Lagoa do Marcelino	29°53'09"S	50°15'09"W
2	Lagoa do Peixoto	29°52'14"S	50°14'20"W
3	Lagoa da Pinguela	29°48'23"S	50°12'32"W
4	Lagoa do Palmital	29°48'48"S	50°09'25"W
5	Lagoa das Malvas	29°47'51"S	50°07'41"W
6	Lagoa do Caconde	29°52'01"S	50°12'23"W
7	Lagoa das Traíras	29°51'57"S	50°10'54"W
8	Lagoa do Lessa	29°50'51"S	50°09'59"W
9	Lagoa da Caieira	29°51'31"S	50°08'23"W
10	Lagoa do Horácio	29°54'46"S	50°13'56"W
11	Lagoa do Inácio	29°54'35"S	50°13'15"W
12	Lagoa do Rincão	29°54'29"S	50°12'15"W
13	Lagoa dos Veados	29°54'21"S	50°10'30"W
14	Lagoa da Emboaba	29°58'12"S	50°13'10"W
15	Lagoa da Emboabinha	29°58'03"S	50°14'03"W
16	Lagoa dos Barros	29°55'46"S	50°22'31"W

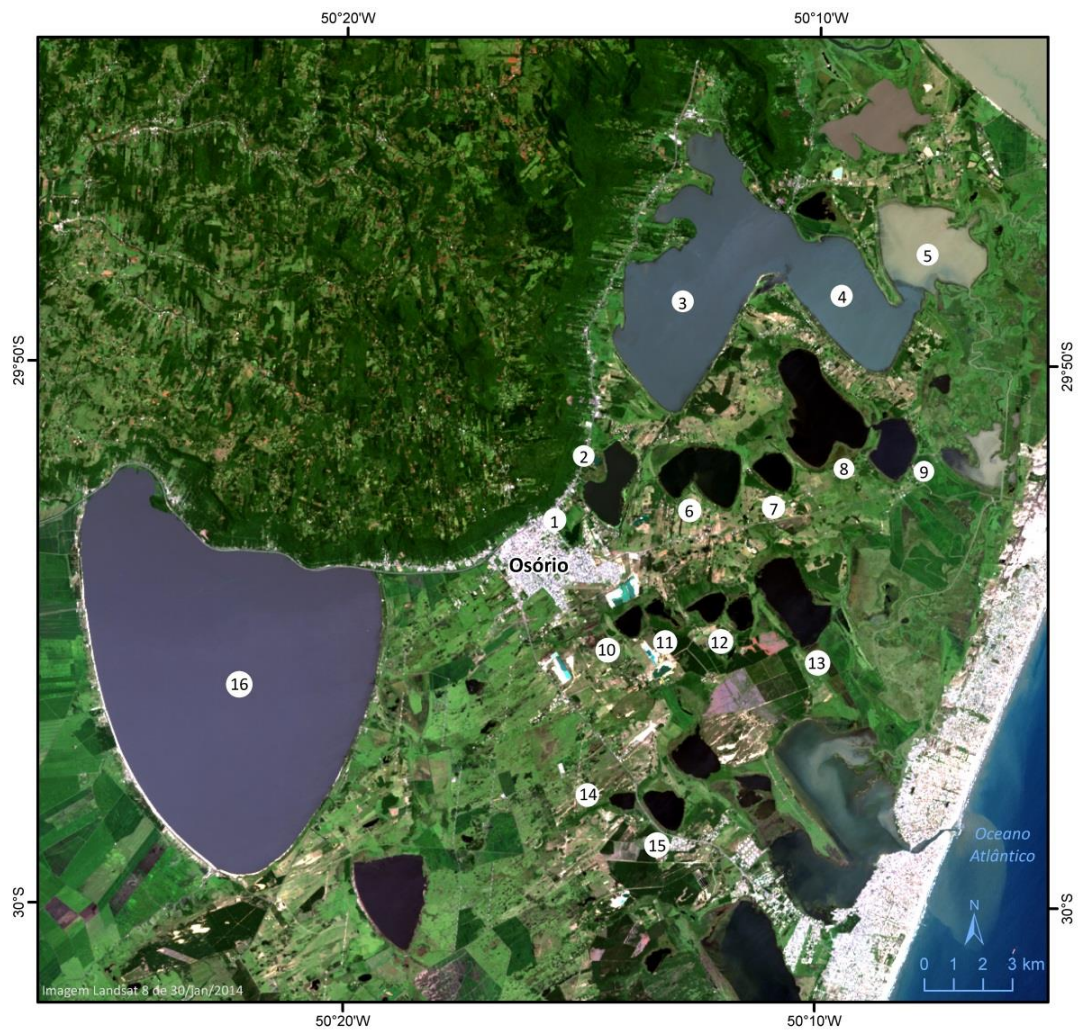


Fig. 1

## Morfologia

A morfologia descreve a forma de um lago que se relaciona à sua gênese e influencia nas características físicas, químicas e biológicas do ecossistema. Em lagos profundos há menor penetração relativa da luz e a tendência é de divisão vertical em compartimentos distintos, ou seja, estratificação do corpo de água. Por outro lado, em lagos rasos a luz penetra até o fundo ou na maior parte do corpo de água, havendo maior facilidade de homogeneização do corpo hídrico e não se observando estratificação marcante. Esse exemplo demonstra que a morfologia de um lago exerce papel decisivo para sua compreensão ecológica.

## Morfometria

A morfometria tem como objetivo a quantificação e medição da forma de um lago e seus elementos. O ponto de partida é a produção de modelos tridimensionais e mapas batimétricos. Nesta etapa são necessárias medidas planimétricas, obtidas através da análise de imagens de satélite, e a profundidade da lagoa, obtida por levantamentos batimétricos. No levantamento batimétrico, um barco é utilizado para percorrer o corpo hídrico e coletar dados com o ecobatímetro, equipamento que registra, simultaneamente, a profundidade medida por um sonar e as coordenadas geográficas obtidas por um receptor GPS.

Como os lagos ao redor do mundo apresentam alta diversidade de formato, tamanho e profundidade, foram criadas convenções para sua descrição. Podem ser analisados dois grupos de parâmetros morfométricos: diretos e indiretos. Os parâmetros diretos são características obtidas por medições diretas, enquanto os indiretos são calculados a partir destas medições.



Fig 2

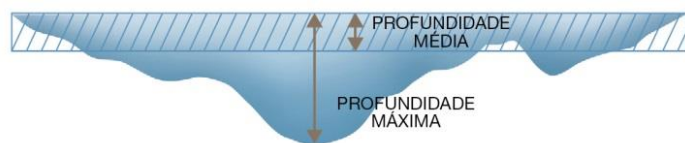


Fig 3

### **Parâmetros morfométricos diretos:**

Área: É o tamanho da superfície de água.

Perímetro: É a linha de contorno que determina a margem.

Comprimento: É a maior distância em linha reta entre dois pontos de margens sem passagem por terra.

Largura: É a maior distância entre duas margens, medida perpendicularmente ao comprimento.

Profundidade máxima: É o ponto de maior profundidade.

### **Parâmetros morfométricos indiretos:**

Volume: É a quantidade de água acumulada. Com base no volume, pode-se avaliar um lago em termos de quantidade de água disponível.

Profundidade média: É a relação entre o volume e a área de um lago.

Profundidade relativa: É a relação entre profundidade máxima e o diâmetro médio do lago, expressa em porcentagem. Lagos com baixa profundidade relativa, abaixo de 2%, são considerados instáveis por reagirem facilmente à ação do vento. As lagoas estudadas possuem valores abaixo de 1%.

Desenvolvimento do Perímetro: É a relação entre o perímetro medido e o perímetro de um lago redondo de mesma área, ou seja, de valor 1,0. É um índice que serve para avaliar a irregularidade da margem. Quanto maior esta irregularidade, maior é o processo de segmentação. O conjunto das lagoas da Pinguela, do Palmital e das Malvas possui um perímetro duas vezes maior do que um lago perfeitamente redondo com mesma área.

## Lagoas do Horácio, do Inácio, do Rincão e dos Veados

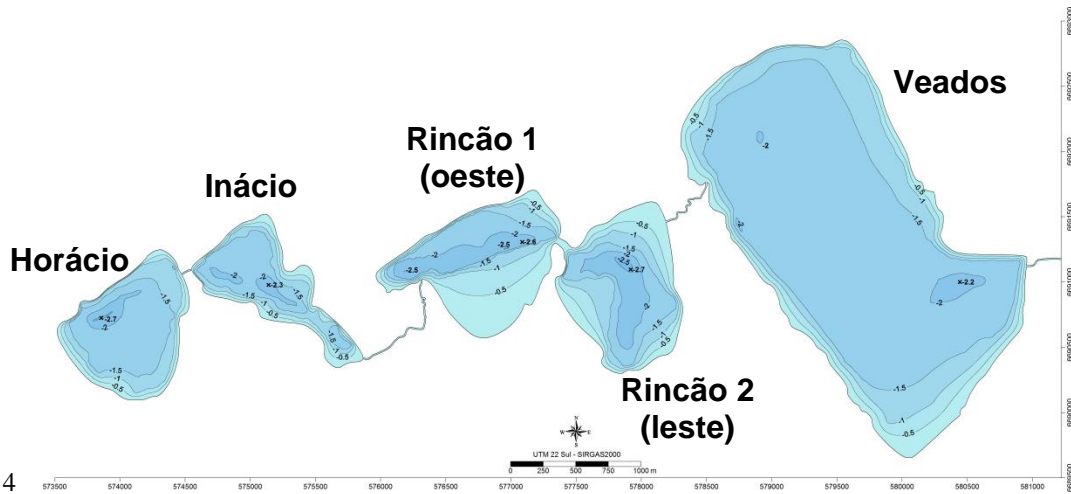


Fig 4

Estas lagoas estão em estágio avançado de envelhecimento natural. Cinturões de plantas aquáticas estão presentes em quase toda a extensão das margens. A vegetação aquática ocupa de forma esparsa o espelho d'água, fixando-se em trechos de menor profundidade.

### Lagoa do Horácio



Fig 5

A Lagoa do Horácio possui balneário com acesso público, fato que torna interessante o conhecimento da profundidade da lagoa. A maior parte dela possui menos de dois metros de profundidade, sendo a profundidade média de 1,4 metros. Apenas um pequeno trecho, afastado da área de banho, possui profundidade maior que 2,5 metros. A lagoa possui formato arredondado, com desenvolvimento do perímetro bastante baixo: 1,1.



Fig 6: Pequeno canal entre as Lagoas do Horácio e do Inácio.



Fig 7: Balneário da Lagoa do Horácio.

## Lagoa do Inácio



Fig 8

A Lagoa do Inácio é a menor em área e volume desta sequência e apresenta segmentação avançada. Na porção sudeste, a vegetação aquática se expande sobre o corpo de água e promove o início de isolamento deste trecho. Não obstante, com o passar de muitos anos pode haver transição natural para banhado ou turfeira.

## **Lagoa do Rincão**



Fig 9

A Lagoa do Rincão está em estágio extremamente avançado de segmentação, com a formação de duas bacias quase individualizadas. Em alguns períodos do ano, as plantas aquáticas flutuantes se acumulam no canal entre as partes leste e oeste da lagoa, formando, visualmente, dois corpos de água. Por essas características, a lagoa foi analisada morfometricamente como um corpo de água único e também na situação de dois corpos de água (Rincão 1 e Rincão 2).

## **Lagoa dos Veados**



Fig 10

A Lagoa dos Veados é a maior em área e volume desta sequência, mas possui a menor profundidade. A relação entre área grande e profundidade pequena confere baixa profundidade relativa à lagoa. O fundo da lagoa é muito plano, o que corresponde à profundidade média de 1,5 metros.



Fig 11: Na margem sudeste da Lagoa dos Veados foi construído um dique para o controle do nível da lagoa.

## Lagoas do Caconde, das Traíras, do Lessa e da Caieira

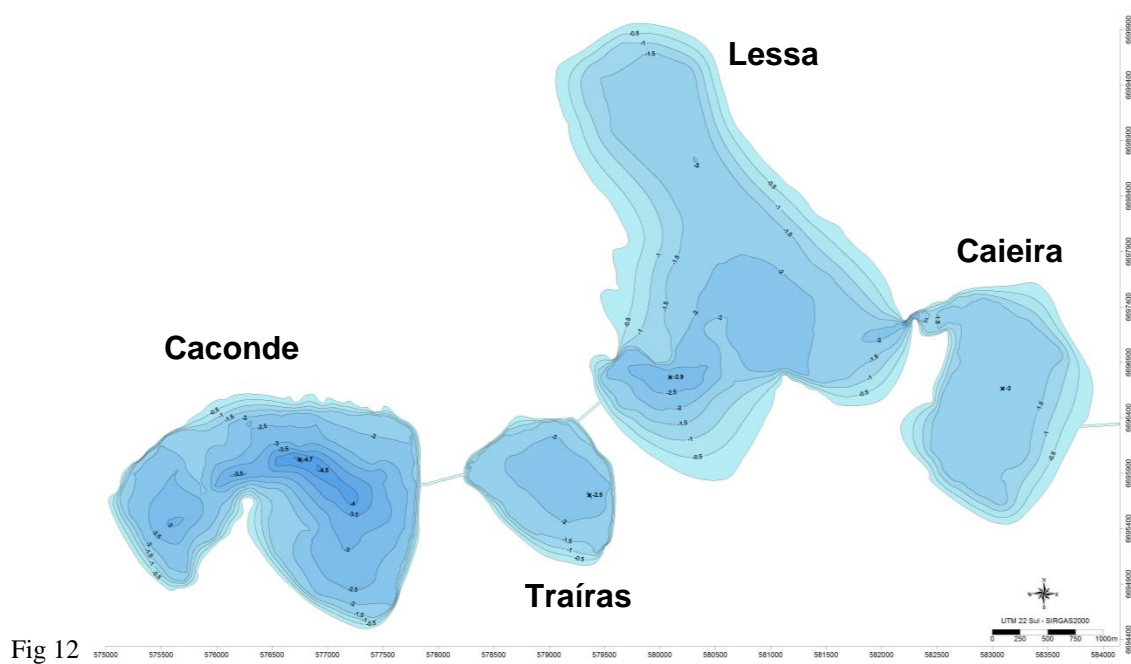


Fig 12

Este grupo apresenta lagoas em estágio intermediário de envelhecimento, que possuem cinturões de plantas aquáticas ao longo das margens, e com processo de segmentação bastante avançado. As lagoas estão interligadas por pequenos canais, desde a Lagoa do Caconde até a Lagoa do Lessa. Entre as lagoas do Lessa e da Caieira, o canal curto e amplo se confunde com a própria área das lagoas. Na parte leste há um canal que escoar a água deste grupo até a Lagoa do Passo.

## Lagoa do Caconde



Fig 13



Com a profundidade máxima de 4,7 metros, a lagoa do Caconde é a segunda mais profunda entre as estudadas no município de Osório, sendo a Lagoa dos Barros a primeira. O fundo da lagoa é bastante heterogêneo, com alternância de trechos planos e declivosos. A segmentação é evidenciada pelo estabelecimento de um pontal na margem sul da lagoa. A análise do mapa batimétrico indica a continuação do processo de segmentação sob a linha de água na porção noroeste, com a possível formação de duas bacias.

## **Lagoa das Traíras**



Fig 14

A Lagoa das Traíras é a menor em área e volume desta sequência de lagoas. A profundidade máxima é de 2,5 metros em uma pequena porção da lagoa, uma vez que a profundidade média é de 1,7 metros. É a lagoa mais arredondada entre as estudadas no município de Osório, com desenvolvimento do perímetro de 1,06, muito próximo do valor de 1,0 para um círculo.



Fig 15

O canal existente desde a Lagoa do Caconde e que deságua na Lagoa das Traíras influencia a hidrologia delas. Durante o período estudado, constatou-se a ação antrópica na manutenção do canal, com sua limpeza e alargamento.

## **Lagoa do Lessa**



Fig 16

A Lagoa do Lessa é a maior em área e volume deste conjunto de lagoas. A parte norte tem fundo plano em torno de 1,5 metros de profundidade, enquanto a parte sul apresenta profundidades variadas até 2,9 metros. Próximo a este ponto há o avanço de um trecho raso desde a margem oeste, onde está fixada uma densa comunidade de plantas aquáticas. O avanço também da margem sul, acompanhado de um trecho com menor profundidade, caracteriza o processo de segmentação da lagoa.



Fig 17

As lagoas do Lessa e da Caieira estão ligadas por um curto canal que se mescla com a própria área das lagoas. Desta forma, foi realizada a análise morfométrica como um único corpo de água, além das medidas individuais de cada lagoa. A circulação da água cava o canal, que alcança a profundidade de 3,6 metros. Este valor não é representativo para nenhuma das duas lagoas, mas sim uma peculiaridade do canal.

## Lagoa da Caieira



Fig 18

A Lagoa da Caieira é a segunda menor em área e volume deste conjunto de lagoas. Em relação às profundidades média e máxima, é a mais rasa, com valores de 1,3 e 2,0 metros, respectivamente. O mapa batimétrico revela que, a partir da profundidade de 1,5 metros, o fundo da lagoa é plano e homogêneo.



Fig 19: Canal entre as lagoas da Caieira e do Passo.

## Lagoas da Emboaba e da Emboabinha

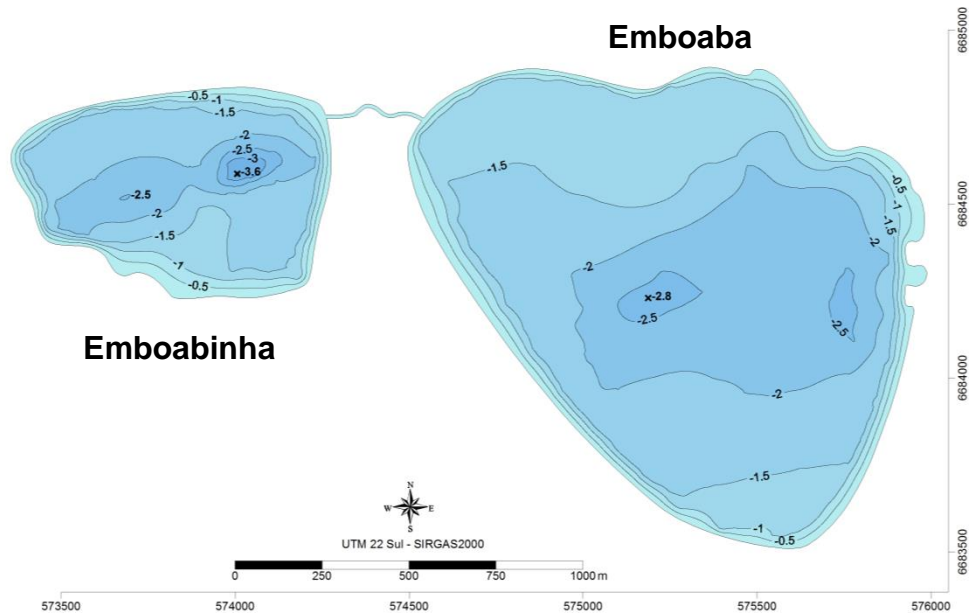


Fig.20

Estas lagoas estão em estágio avançado de envelhecimento e as margens são ocupadas por vegetação aquática em toda sua extensão. Elas possuem formato arredondado, com baixo desenvolvimento do perímetro.

## Lagoa da Emboabinha



Fig.21

A Lagoa da Emboabinha, com profundidade de 3,6 metros, é mais profunda do que a vizinha Lagoa da Emboaba. Possui também a maior profundidade relativa dentre as estudadas em Osório, o que significa ser a mais profunda em relação ao seu tamanho. A análise do mapa batimétrico revela processos de segmentação sob a superfície, evidenciada por uma faixa de menor profundidade (1,5 metros) na margem sul.

## **Lagoa da Emboaba**



Fig 22

A Lagoa da Emboaba alcança 2,8 metros de profundidade. Entretanto, poucos trechos ultrapassam 2,5 metros. A vegetação aquática se estabelece em amplas áreas da lagoa devido à profundidade média de 1,6 metros.

A Lagoa da Emboaba é utilizada para abastecer a cidade de Tramandaí em alguns períodos do ano.

## Lagoas do Marcelino e do Peixoto

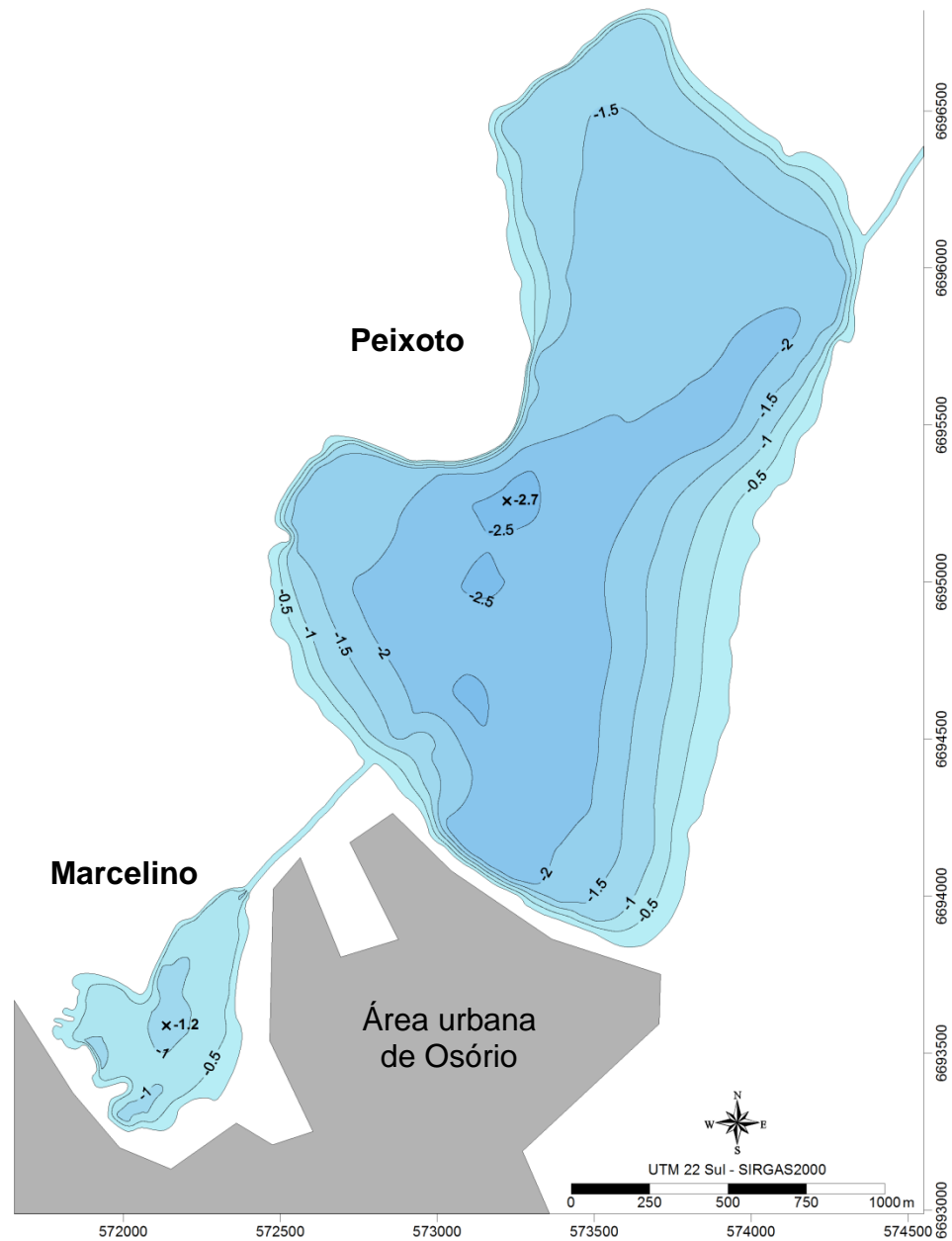


Fig. 23

As lagoas do Marcelino e do Peixoto são as mais próximas da área urbana e com maior uso e influência antrópica. Desde o início do século XX, vêm sendo promovidas mudanças na hidrologia destas lagoas, como a construção do canal entre as lagoas do Peixoto e da Pinguela, promovendo uma ligação não existente até então, a fim de se estabelecer a navegação lacustre entre Osório e Torres. Atualmente, boa parte dos canais estão assoreados e só é possível a navegação de embarcações de baixo calado. Assim como os canais, as lagoas já foram intensamente dragadas nos trechos utilizados para a navegação, o que não ocorre mais desde a metade do século passado.

## Lagoa do Marcelino



Fig. 24

A Lagoa do Marcelino é a menor das lagoas estudadas em Osório. O formato irregular da lagoa, com grande desenvolvimento do perímetro, facilita o estabelecimento de comunidades de plantas aquáticas e a colmatação do corpo de água. Este processo de deposição de material de origem mineral e orgânica no fundo da lagoa vem se acelerando devido aos despejos provenientes da área urbana. Este é um fator preocupante para a sobrevivência da Lagoa do Marcelino, uma vez que a profundidade máxima é de 1,2 metros e a profundidade média tem somente 70 centímetros.



Fig 25: Cursos de água perdem velocidade ao desaguar na Lagoa do Marcelino e também depositam material nas margens sul e oeste.



Fig 26: Canal entre as lagoas do Marcelino e do Peixoto.

## Lagoa do Peixoto



Fig 27

O formato da Lagoa do Peixoto é bastante peculiar: a largura entre as margens na região central é menor do que nas partes norte e sul. A parte norte é mais plana e rasa do que a parte sul. A profundidade média é de 1,6 metros e a profundidade, superior a 2,5 metros, ocorre em poucos trechos. Na margem leste há uma grande área ocupada pela vegetação aquática que se estabelece nestas áreas de profundidade baixa.



Fig 28: Balneário na região nordeste da Lagoa do Peixoto.



Fig 29: Canal entre as lagoas do Peixoto e da Pinguela.



## Lagoa da Pinguela-Palmital-Malvas

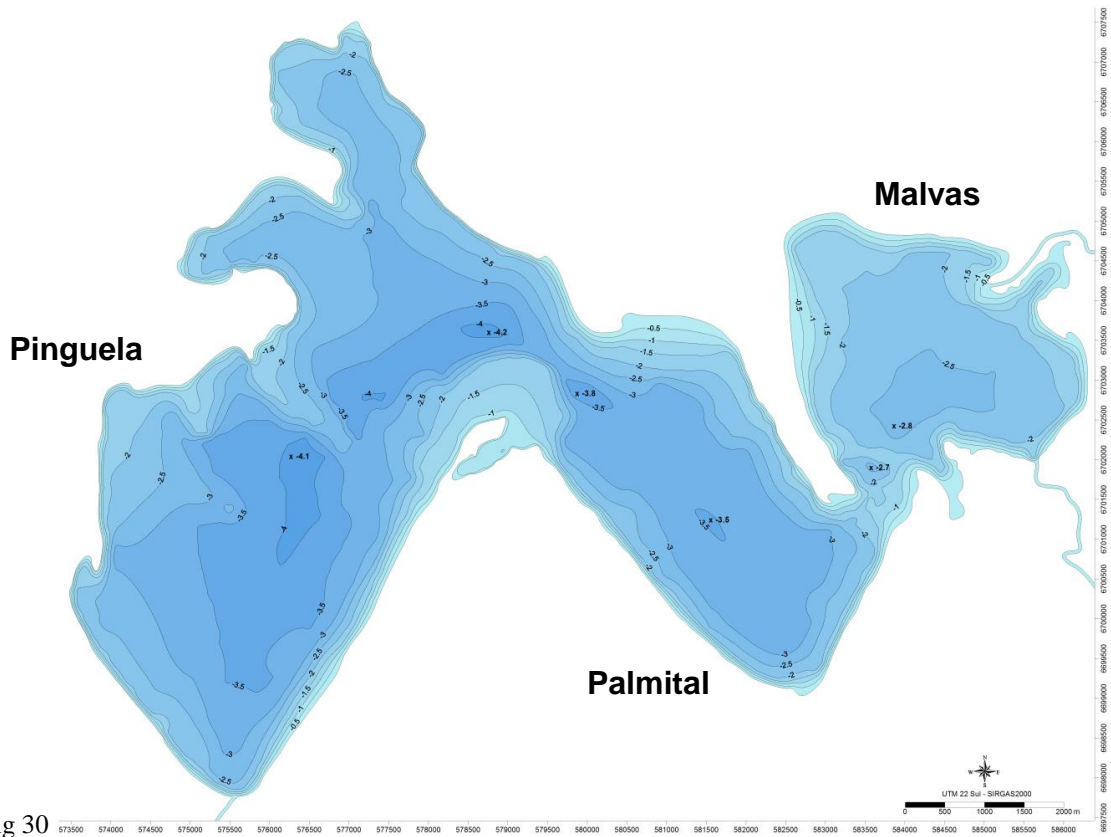


Fig 30

Apesar de possuírem nomes distintos para cada trecho, as lagoas da Pinguela, do Palmital e das Malvas constituem um único corpo hídrico. Este corpo de água tem formato bastante irregular e o maior desenvolvimento do perímetro dentre as lagoas estudadas: 2,36. A extensão da linha de margem alcança o notável valor de 60 quilômetros.



Fig 31

Entre as lagoas da Pinguela e do Palmital, não existe separação nítida, de forma que é incerto afirmar onde termina uma e começa a outra. A análise do mapa batimétrico indica menor profundidade no trecho onde se pressupõe a divisa entre as lagoas.

O Pontal da Lagoa delimita parcialmente as lagoas do Palmital e das Malvas. No mapa batimétrico é nítida a avançada segmentação entre elas, como um trecho raso onde a vegetação aquática está estabelecida de forma intensa. A navegação está restrita a um corredor sem vegetação, mantido pelo tráfego de embarcações.

## Lagoa da Pinguela



Fig 32

A Lagoa da Pinguela é a maior das três lagoas do conjunto. Apesar de alcançar 4,2 metros, a profundidade média é de 2,7 metros, devido à irregularidade do fundo. Trechos mais rasos indicam processos de segmentação abaixo da linha da água, quando analisado o mapa batimétrico.

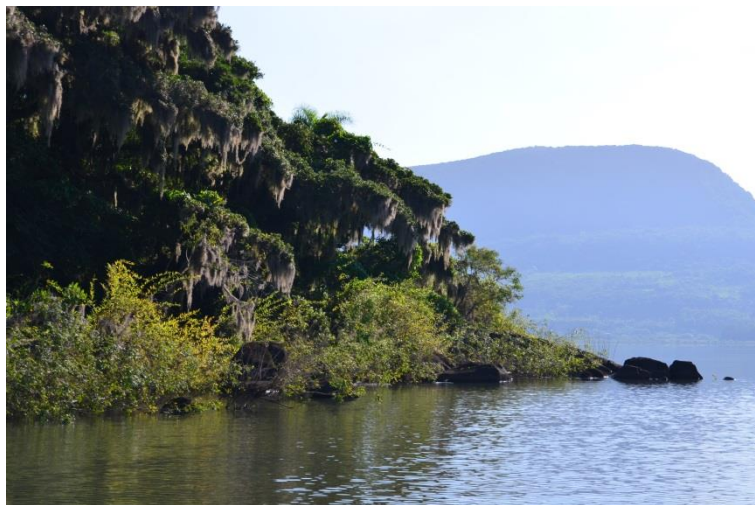


Fig 33

Alguns trechos da lagoa são delimitados por rochas da Formação Serra Geral, o que contribui para o formato irregular das margens. Uma dessas reentrâncias é conhecida como Ponta da Ilha.

## **Lagoa do Palmital**



Fig 34

A Lagoa do Palmital é a porção intermediária entre as lagoas da Pinguela e das Malvas. Ela possui o fundo mais homogêneo, com profundidade média de 2,6 metros e máxima de 3,8 metros.

## **Lagoa das Malvas**



Fig. 35

A Lagoa das Malvas recebe as águas da Lagoa do Palmital na parte sul e do canal conhecido como Rio João Pedro na porção nordeste. Este canal se origina na Lagoa dos Quadros e, ao adentrar a Lagoa das Malvas, forma um pequeno delta.

As águas da Lagoa das Malvas escoam pelo Rio dos Postes na margem sudeste. Este canal segue na direção sul até a Lagoa do Passo, de onde parte o Rio Tramandaí até a Laguna de mesmo nome, a qual deságua no Oceano Atlântico.

## **Lagoa dos Barros**



Fig 36

A Lagoa dos Barros é a maior lagoa dos municípios de Osório e Santo Antônio da Patrulha e uma das maiores do Rio Grande do Sul. Os valores de área, volume, comprimento, largura e profundidade máxima e média são os maiores dentre as lagoas estudadas. Pela análise do mapa batimétrico, as margens são declivosas e o fundo é bastante plano. Isto significa dizer que, ao se adentrar na lagoa, há um aumento brusco da profundidade e que esta se mantém praticamente constante entre 4,5 e 5,0 metros. Estes valores equivalem à profundidade média de 4,7 metros. O ponto mais fundo da lagoa, com 6,1 metros, localiza-se a apenas 250m da margem norte. Apesar da maior profundidade, a lagoa tem o segundo menor valor de profundidade relativa, uma vez que esse parâmetro relaciona a profundidade máxima com a área do corpo de água.

Os valores morfológicos da lagoa impressionam: área de 9.178 hectares, comprimento de 14,5 quilômetros, o que equivale à distância do centro de Osório até o Parque Osório, perímetro superior à distância de Osório até Santo Antônio da Patrulha ou Capão da Canoa e volume 88 vezes maior que a Lagoa do Peixoto e 432 vezes maior que a Lagoa do Horácio.

A geologia do entorno da Lagoa dos Barros é bastante diversificada. Ao norte, encontramos a Formação Serra Geral e um pequeno afloramento de arenito da Formação Botucatu. A lagoa está inserida entre os sistemas Laguna-Barreira II e III, o que a diferencia das lagoas mais próximas do litoral, onde estão presentes os sistemas Laguna Barreira III e IV. Ainda assim, há depósitos lagunares e eólicos do Período Quaternário.



Fig 37

Formação Serra Geral delimita a parte norte da lagoa.



Fig 38



Fig 39

Afloramento de rochas areníticas da Formação Botucatu em um pequeno trecho da margem norte.



Fig 40

Dunas originadas do retrabalhamento eólico no sudeste da Lagoa dos Barros.

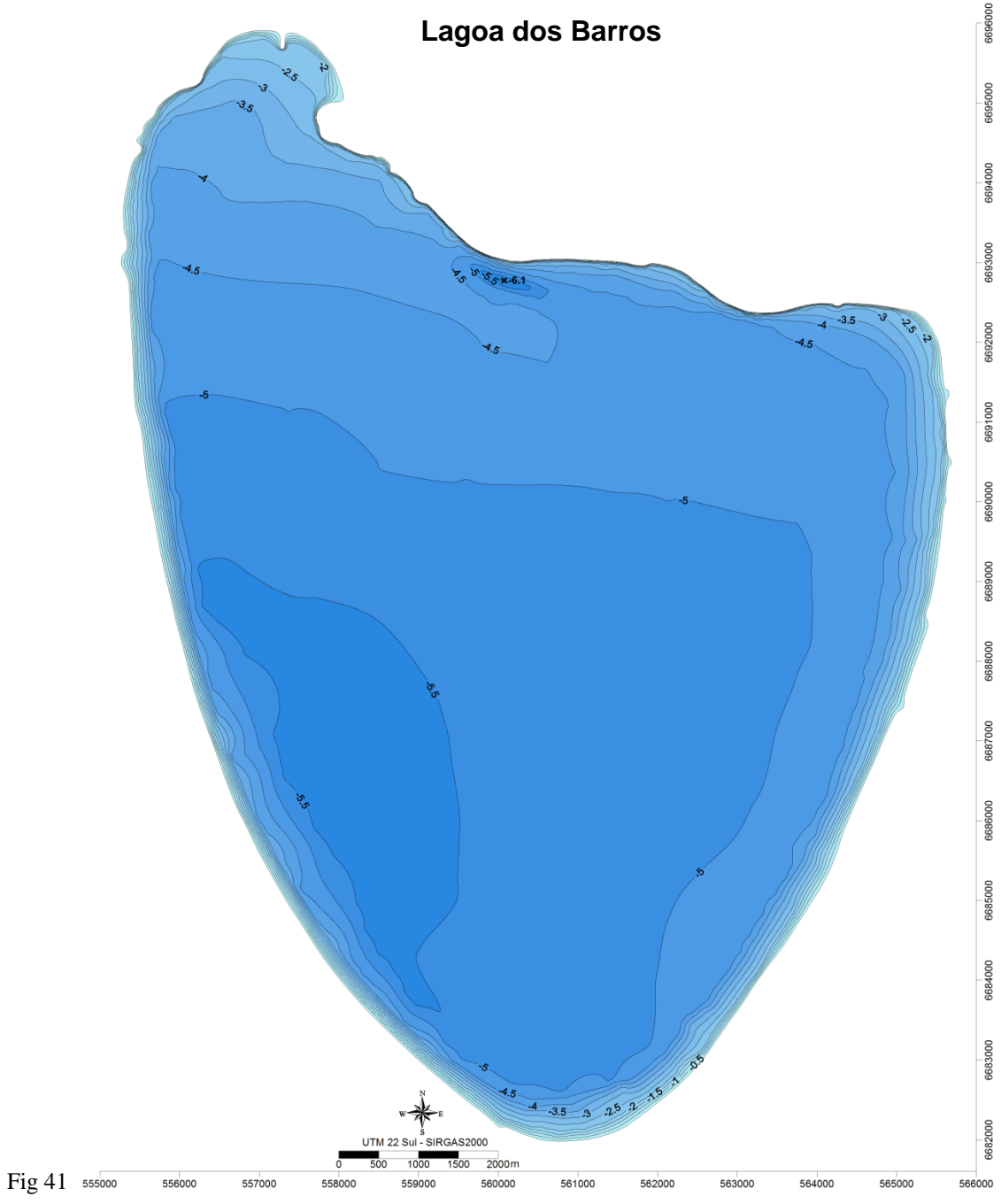


Fig 41

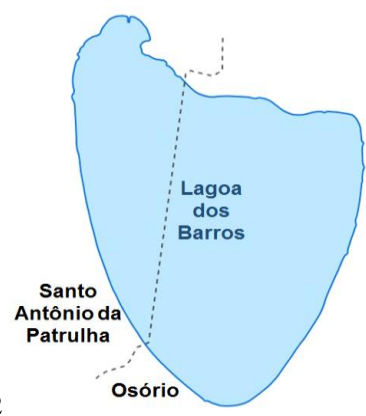


Fig 42



Fig 43

Margeando o norte da lagoa está a BR-290, conhecida por Free-Way.



Fig 44

O bombeamento de água para a irrigação de lavouras de arroz é intenso na região oeste e sudoeste.

Nome	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Comprimento (km)	Largura (km)	Profundidade Máxima (m)	Profundidade Média (m)	Profundidade Relativa (%)	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Desenvolvimento do Perímetro
Lagoa do Horácio	0,74	3,37	1,18	0,95	2,7	1,4	0,28	1,04	1,11
Lagoa do Inácio	0,55	4,02	1,47	0,73	2,3	1,3	0,27	0,70	1,53
Lagoa do Rincão	1,75	7,82	1,68	1,09	2,7	1,2	0,18	2,05	1,67
Lagoa do Rincão 1 (Oeste)	0,87	4,05	1,47	0,93	2,6	1,1	0,25	0,95	1,22
Lagoa do Rincão 2 (Leste)	0,86	3,65	1,34	1,00	2,7	1,3	0,26	1,09	1,11
Lagoa dos Veados	4,42	9,04	3,24	1,93	2,2	1,5	0,09	6,71	1,21
Lagoa do Caconde	4,07	9,43	2,86	2,16	4,6	2,2	0,20	8,90	1,32
Lagoa das Traíras	1,29	4,27	1,50	1,15	2,5	1,7	0,20	2,21	1,06
Lagoas Caieira-Lessa	9,82	19,41	4,15	4,18	3,6	1,4	0,10	13,30	1,75
Lagoa do Lessa	7,29	12,80	4,19	2,93	2,9	1,4	0,10	9,99	1,34
Lagoa da Caieira	2,53	6,66	2,19	1,53	2,0	1,3	0,11	3,28	1,18
Lagoa da Emboaba	1,43	4,74	1,66	1,19	2,8	1,6	0,21	2,31	1,12
Lagoa da Emboabinha	0,44	2,57	0,93	0,66	3,6	1,6	0,48	0,68	1,10
Lagoa do Marcelino	0,27	2,76	0,86	0,58	1,2	0,7	0,21	0,19	1,51
Lagoa do Peixoto	2,99	8,13	2,99	1,53	2,7	1,6	0,14	4,90	1,33
Pinguela-Palmital-Malvas	51,18	59,91	10,51	7,56	4,2	2,5	0,05	127,5	2,36
Lagoa da Pinguela	29,18	30,77	9,69	4,97	4,2	2,7	0,07	78,87	1,61
Lagoa do Palmital	12,03	16,78	5,29	2,78	3,8	2,6	0,10	31,03	1,36
Lagoa das Malvas	9,97	16,91	4,34	3,51	2,8	1,3	0,08	13,34	1,51
Lagoa dos Barros	91,78	39,50	14,54	10,13	6,1	4,7	0,06	432,0	1,16



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lagoas de Osório estão inseridas na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, formada por processos de erosão e deposição durante eventos de oscilação do nível do mar, associados a processos fluviais, eólicos e biológicos.

Diferentemente de outras lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, em geral influenciadas a leste pelas dunas móveis, as lagoas de Osório estão completamente circundadas por vegetação terrestre e áreas úmidas.

Devido a sua gênese, essas lagoas são rasas, alcançando o máximo de 6,1 metros na Lagoa dos Barros e apenas 1,2 metros na Lagoa do Marcelino. A maioria das lagoas possui profundidades médias entre 1 e 2,5 metros.

Essas lagoas são em sua maioria pequenas, mas destacam-se por sua área de superfície as lagoas grandes representadas pelo conjunto Pinguela, Palmital e Malvas, além da Lagoa dos Barros, a maior lagoa estudada em diversos parâmetros morfométricos.

O tamanho das lagoas influencia na classificação das mesmas, como observado nos parâmetros área e volume com coeficientes de variação de 193 e 265%, respectivamente. Desta forma, as grandes lagoas não foram incluídas na análise estatística, sendo o agrupamento realizado com as lagoas do Marcelino, Emboabinha, Inácio, Horácio, Rincão 2 (oeste), Rincão 1 (leste), Traíras, Emboaba, Caieira, Peixoto, Caconde, Veados e Lessa (listadas por valores crescentes de área).

Foram estabelecidos quatro grupos morfológicos, onde a principal diferenciação foi de tamanho, distinguindo-se primeiramente lagoas pequenas e grandes e secundariamente lagoas rasas e profundas.

As atuais tecnologias, incluindo a coleta georreferenciada de dados e a análise de imagens de satélite, permitem a aplicação de métodos eficientes e replicáveis que podem ser empregados em estudos limnológicos diversos, gerando resultados satisfatórios e essenciais para a compreensão da estrutura e funcionamento dos corpos de água.

## REFERÊNCIAS

- AHLERT, S.; SCHÄFER, A.; SCHUH, S.M.; MARCHETT, C.A. Lagoas costeiras: Morfologia, p. 55-88. In: SCHÄFER, A., LANZER, R.; SCUR, L., (org.). **Atlas socioambiental: municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul. Caxias do Sul: EDUCS, 2013, 354p.**
- ASHTON, A; MURRAY, A. B; LITTLEWOOD, R; LEWIS, D. A; HONG, P. Fetch limited self-organization of elongate water bodies. **Geology**, v. 37, p.187-190, 2009.
- BARNES, R. S. K. **Coastal Lagoons**. Cambridge: Cambridge University Press, 1980, 106p.
- BEZERRA-NETO, J. F.; PINTO-COELHO, R. M. Morphometric study of Lake Dom Helvécio, Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais, Brazil: a re-evaluation. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 20, p. 161-167, 2008.
- BEZERRA-NETO, J. F., BRIGUENTI, L. S; PINTO-COELHO, R. M. A new morphometric study of Carioca Lake, Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais State, Brazil. **Acta Scientiarum, Biological Sciences**, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2010.
- BLAIS, J.M.; KALFF, J. The influence of lake morphometry on sediment focusing. **Limnology and Oceanography**, v.40, n.3, p. 582-588, 1995.
- de CASTRO, D.; MELLO, R. S. P, de. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí**. Porto Alegre: Via Sapiens, 2013, 180p.
- CHOW-FRASER, P. Use of the morphoedaphic index to predict nutrient status and algal biomass in some Canadian lakes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 48: 1909-1918, 1991.
- COLE, G. H. **Textbook of Limnology**. Saint Louis, 1975.
- CPRM. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul – Escala 1:750.000**. Porto Alegre: MME, 2007.
- CRISMAN, T.L.; MITRAKI, C.; ZALIDIS, G. Integrating vertical and horizontal approaches for management of shallow lakes and wetlands (Review). **Ecological Engineering**, v.24, n.4, p. 379-389, 2005.
- DELANEY, P. J. V. Lagoas Cordiformes do Rio Grande do Sul - Brasil. **Escola de Geologia**, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.3, p.1-24, 1960.
- DELANEY, P. J. V. **Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul**. 1962. Tese (Doutorado em Geologia Geral). São Paulo: Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, 1962.
- DELANEY, P. J. V. Fisiografia e geologia da superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial da Escola de Geologia**, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v.6, p.1-195, 1965.
- DILLENBURG, R. S.; LAYBAUER, L.; MEXIAS, A. S.; DANI, N.; BARBOZA, E. G.; LUMMERTZ, C. N. Significado Estratigráfico de Minerais Glauconíticos da Planície

Costeira do Rio Grande Do Sul - Região da Laguna de Tramandaí. **Revista Brasileira de Geociências**, v.30, n.4, p.649-654, 2000.

DILLENBURG, S.R.; ESTEVES, L.S.; TOMAZELLI, L.J. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.76, n.3, p. 611-623, 2004.

FANTIN-CRUZ, I.; LOVERDE-OLIVEIRA, S.; GIRARD, P. Caracterização morfométrica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte. **Acta Ciências Biológicas**, v.30, n.2, p. 133-140, 2008.

FEE, E. J. A relation between lake morphometry and primary productivity and its use in interpreting whole lake eutrophication experiments. **Limnology and Oceanography**, v.24, n.3, p.401-416, 1979.

HÅKANSON, L. Influence of wind, fetch, and water depth on the distribution of sediments in Lake Vanern, Sweden. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v.14, n.3, p.397-412, 1977.

HÅKANSON, L. **A Manual of Lake Morphometry**. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981a, 78p.

HÅKANSON, L. On lake bottom dynamics-the energy-topography factor. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v.18, n.5, p.899-909, 1981b.

HÅKANSON, L. Lake bottom dynamics and morphometry: the dynamic ratio. **Water Resources Research**, v.18, p.1444-1450, 1982.

HÅKANSON, L. The importance of lake morphometry and catchment characteristics in limnology – ranking based on statistical analysis. **Hydrobiologia**, v.541, p.117-137, 2005a.

HÅKANSON, L. The importance of lake morphometry for the structure and function of lakes. **International Review of Hydrobiology**, v.90, n.4, p.433-461, 2005b.

HÅKANSON, L., GYLLENHAMMAR, A.; BROLIN, A. A dynamic compartment model to predict sedimentation and suspended particulate matter in coastal areas. **Ecological Modelling**, v.175, p.353-384, 2004.

HÅKANSON, L.; PETERS, R.H. **Predictive Limnology - Methods for Predictive modelling**. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1995, 464p.

HUTCHINSON, G. E. **A treatise on limnology**, v.1. Geography, Physics and Chemistry. New York: John Wiley & Son, 1957, 1015p.

JOHANSSON, H.; BROLIN, A. A.; HÅKANSON, L. New approaches to the modeling of lake basin morphometry. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 12, n. 3, p. 213-228, 2007.

KALCHEV, R; BOTEV, I; HRISTOZOVA, M; NAIDENOW, W.; RAIKOVA-PETROVA, G; STOYNEVA, M; TEMNISKOVA-TOPALOVA, D.; TRICHKOVA, T. Ecological relations and temporal changes in the pelagial of the high mountain lakes in the Rila Mountains (Bulgaria). **Journal of Limnology**, v.63, n.1, p.90-100, 2004.

KOLADA, A. The effect of lake morphology on aquatic vegetation development and changes under the influence of eutrophication. **Ecological Indicators**, v.38, p.282-293, 2014.

KÖPPEN, W. **Climatología**: un estudio de los climas de la Tierra. Mexico: Fondo de Cultura Economica del Mexico, 1948.

LAWNICZAK, A. E.; CHOINSKI, A.; KURZYCA, I. Dynamics of lake morphometry and bathymetry in various hydrological conditions. **Polish Journal of Environmental Studies**, v.20, n.4, p.931-940, 2011.

LEES, B. G.; COOK, P.G. A conceptual model of lake barrier and compound lunette formation. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.84, n.1, p.271-284, 1991.

LIU, W.; ZHANG, Q.; LIU, G. Lake eutrophication associated with geographic location, lake morphology and climate in China. **Hydrobiologia**, v.644, n.1, p.289-299, 2010.

LIU, W.; ZHANG, Q.; LIU, G. Effects of watershed land use and lake morphometry on the trophic state of Chinese lakes: implications for eutrophication control. **Clean - Soil, Air, Water**, v.39, n.1, p.35-42, 2011.

MAGYAR, N.; HATVANI, I. G.; SZÉKELY, I. K.; HERZIG, A.; DINKA, M.; KOVÁCS, J. Application of multivariate statistical methods in determining spatial changes in water quality in the Austrian part of Neusiedler See. **Ecological Engineering**, v. 55, p. 82-92, 2013.

MARCHETT, C. A., SCHUH, S. M.; AHLERT, S.; SCHÄFER, A. E. Uso de imagens Landsat 5 TM de diferentes datas para a definição do limite de Lagoas Costeiras no Rio Grande do Sul. Santa Maria: **Anais III SELCS** (Seminário sobre Estudos Limnológicos em Clima Subtropical), 2012.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961, 42p.

MURDOCH, A.; POWER, M. The effect of lake morphometry on thermal habitat use and growth in Arctic charr populations: Implications for understanding climate-change impacts. **Ecology of Freshwater Fish**, v.22, n.3, p.453-466, 2013.

NIXDORF, B.; DENEKE, R. Why 'very shallow' lakes are more successful opposing reduced nutrient loads. **Hydrobiologia**, v.342/343, p.269-284, 1997.

NÖGES, T. Relationships between morphometry, geographic location and water quality parameters of European lakes. **Hydrobiologia**, v.633, n.1, p.33-43, 2009.

NOGUEIRA, P. C. Regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul. **Geologia e Metalurgia**, v.5, p.66-80, 1948.

PADISÁK, J.; REYNOLDS, C. S. Shallow lakes: the absolute, the relative the functional and the pragmatic. **Hydrobiologia**, 506–509, 1–11, 2003.

PEDROZZO, C. S.; ROCHA, O. Environmental Quality Evaluation of Lakes in the Rio Grande do Sul Coastal Plain. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.50, n.4, p.673-685, 2007.

REGINATO, P.A.R.; AHLERT, S. Geologia, p.23-30. In: SCHÄFER, A.; LANZER, R.; SCUR, L. (org.). **Atlas socioambiental dos municípios de Cidreira, Balneário Pinhal, Palmares do Sul**. Caxias do Sul: EDUCS, 2013, 354p.

SCHÄFER, A. **Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais**. Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, 1985, 532p.

SCHÄFER, A. Tipificação ecológica das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 2, p. 29-56, 1988.

SCHÄFER, A. **Die Küstenseen Südbrasilens. Ein Beitrag zur biogeographischen Raumanalyse der Restinga**. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 1992a, 203p.

SCHÄFER, A. Ecological characteristics of the coastal lakes in Southern Brazil: a synthesis. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.4, p.111-122, 1992b.

SCHÄFER, A. A planície costeira, p.44-55. In: SCHÄFER, A.; LANZER, R.; PEREIRA, R. (org.). **Atlas Socioambiental: municípios de Mostardas, Tavares, São José do Norte e Santa Vitória do Palmar**. Caxias do Sul: EDUCS, 2009, 372p.

SCHÄFER, A. Sistema único, 13-22. In: SCHÄFER, A., LANZER, R.; SCUR, L. (org.). **Atlas socioambiental: municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul**. Caxias do Sul: EDUCS, 2013a, 354p.

SCHÄFER, A. Caracterização físico-química, 89-100. In: SCHÄFER, A., LANZER, R.; SCUR, L. (org.). **Atlas socioambiental: municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul**. Caxias do Sul: EDUCS, 2013b, 354p.

SCHÄFER, A. Envelhecimento das lagoas, 101-106. In: SCHÄFER, A., LANZER, R.; SCUR, L. (org.). **Atlas socioambiental: municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul**. Caxias do Sul: EDUCS, 2013c, 354p.

SCHÄFER, A.; STREHER, A. S.; AGOSTINI, A. U. Características morfológicas das lagoas costeiras, p.110-137. In: SCHÄFER, A.; LANZER, R.; PEREIRA, R. (org.). **Atlas Socioambiental: municípios de Mostardas, Tavares, São José do Norte e Santa Vitória do Palmar**. Caxias do Sul: EDUCS, 2009a, 372p.

SCHÄFER, A.; LANZER, R.; STREHER, A. S. Características ecológicas das lagoas costeiras, p.140-157. In: SCHÄFER, A.; LANZER, R.; PEREIRA, R. (org.). **Atlas Socioambiental: municípios de Mostardas, Tavares, São José do Norte e Santa Vitória do Palmar**. Caxias do Sul: EDUCS, 2009b, 372p.

SCHÄFER, A.; MARCHETT, C. A. **Um voo sobre as águas: as lagoas costeiras dos municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul**. 1ed. Caxias do Sul: EDUCS, 2013. 160p.

SCHEFFER, M. **Ecology of Shallow Lakes**. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 2004, 357p.

SCHWARZBOLD, A. **Influência da morfologia no balanço de substâncias e na distribuição de macrófitas aquáticas nas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1982.

SCHWARZBOLD, A.; SCHÄFER, A. Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul - Brasil. **Amazoniana**, v.4, n.1, p.87-104, 1984.

SERIZAWA, M.; UDA, T.; MIYAHARA, S. Segmentation of water body given probability of occurrence of wind direction by circular or elliptic distribution. **Coastal Engineering**, n.35, 2016

SOARES, A. D. **Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Município de Osório, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Porto Alegre: UFRGS, 2016.

von SPERLING, E. **Morfometria de Lagos e Represas**. Belo Horizonte: DESA/UFGM, 1999, 137p.

STEFANIDIS, K.; PAPASTERGIADOU, E. Relationships between lake morphometry, water quality, and aquatic macrophytes, in greeklakes. **Fresenius Environmental Bulletin**, v.21, n.10a, p.3018-3026, 2012.

TAGLIANI, P. R. A. **Ecologia da paisagem da Restinga da Lagoa dos Patos: uma contribuição para o manejo e conservação da reserva da biosfera**. Rio Grande: Editora da Furg, 2011, 184p.

THIENEMANN, A. Der Bau des Seebeckens in seiner Bedeutung für den Ablauf des Lebens im See. **Verhandlungen der zoologischen und botanischen Gesellschaft**, v.77, p.87-91, 1927.

TOMAZELLI, L. J.; HORN F<sup>o</sup>, N. O.; VILLWOCK, J. A.; DEHNHARDT, E. A.; LOSS, E. L. & KOPPE, J. C. **Mapa Geológico das Folhas Osório e Tramandaí – escala 1:100.000**. CECO/Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984.

TOMAZELLI, L. J. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v.20, n.1, p.18-26, 1993.

TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R.; VILLWOCK, J.A. Late quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.30, n.3, p. 474-476, 2000.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil. **Marine Geology**, v.244, n.1, p.33-45, 2007.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Quaternary geological evolution of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. **Anais da Academia brasileira de Ciências**, v.68, n.3, p.373-382, 1996.

TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. 2000. O Cenozóico do Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira. In HOLZ, M. and DEROS, L.F., org. Geologia do Rio Grande do Sul. Edição CECO/UFRGS. 444 p.

UDA, T.; SERIZAWA, M.; MIYAHARA, S. Numerical simulation of three-dimensional segmentation of elongated water bodies. **Coastal Engineering**, n.33, p.1-11, 2012.

UDA, T.; SERIZAWA, M.; MIYAHARA, S.; SAN-NAMI, T. Prediction of Segmentation and Mergence of Shallow Water Bodies. **Coastal Dynamics**, p.1729-1740, 2013.

VIERO, A. C.; da SILVA, D. R. A. (Orgs.). **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. 1 Dvd. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Porto Alegre: CPRM, 2010.

VILLWOCK, J. A. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. **Pesquisas**, n. 16, p. 5-49, 1984.

VILLWOCK, J. A.; DILLENBURG, S. R., GONÇALVES, S. A.; SOUZA, I. F. B. E. Recursos minerais da região costeira e aspectos metodológicos da prospecção. **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 22, n. 10, p. 83-110, 1986.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L.J. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**. CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, v.8, p.1-45, 1995.

WEITHOFF, G.; MOSER, M.; KAMJUNKE, N.; GAEDKE, U.; WEISSEB, T. Lake morphometry and wind exposure may shape the plankton community structure in acidic mining lakes. **Limnologica**, v.40, n.2, p.161–166, 2010.

WETZEL, R.G. **Limnology** – Lake and River Ecosystems, 3 ed. San Diego: Academic Press. 1006p, 2001.

ZENKOVITCH V. P. 1959. On the genesis of cusped spits along lagoon shores. **Journal of Geology**, v. 67, n. 3, p. 269-277.

**ANEXO A: CAPÍTULO INTITULADO “MORFOLOGIA”, DIAGRAMADO PARA  
PUBLICAÇÃO NA OBRA ATLAS SOCIOAMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE  
OSÓRIO**



# morfologia



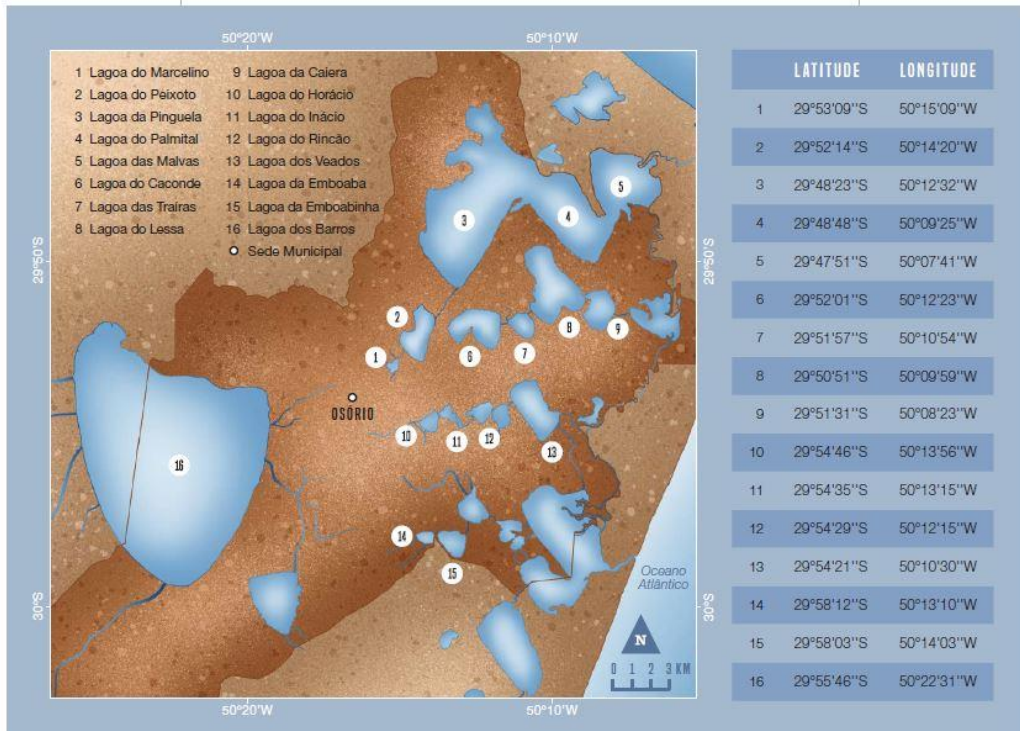
**Foto: Cassiano Alves Marchett**

# morfologia

CASSIANO ALVES MARCHETT  
SABRINA MAURER SCHUH  
ALOIS SCHÄFER

## LOCALIZAÇÃO

Ao longo da Planície Costeira do Rio Grande do Sul existem cerca de 100 lagoas separadas do oceano por barreiras decorrentes de processos marinhos, eólicos e fluviais. Devido à sua gênese, essas lagoas são rasas, alcançando poucos metros de profundidade quando comparadas a outros lagos ao redor do mundo. Entre as 23 lagoas de Osório, foram estudadas 16 lagoas.



## MORFOLOGIA

A morfologia descreve a forma de um lago que se relaciona à sua gênese e influencia nas características físicas, químicas e biológicas do ecossistema. Em lagos profundos há menor penetração relativa da luz e a tendência é de divisão vertical em compartimentos distintos, ou seja, estratificação do corpo de água. Por outro lado, em lagos rasos a luz penetra até o fundo ou na maior parte do corpo de água, havendo maior facilidade de homogeneização do corpo hídrico e não se observando estratificação marcante. Esse exemplo demonstra que a morfologia de um lago exerce papel decisivo para sua compreensão ecológica.

## MORFOMETRIA

A morfometria tem como objetivo a quantificação e medição da forma de um lago e seus elementos. O ponto de partida é a produção de modelos tridimensionais e mapas batimétricos. Nesta etapa são necessárias medidas planimétricas, obtidas através da análise de imagens de satélite, e a profundidade da lagoa, obtida por levantamentos batimétricos. No levantamento batimétrico, um barco é utilizado para percorrer o corpo hídrico e coletar dados com o ecobatímetro, equipamento que registra, simultaneamente, a profundidade medida por um sonar e as coordenadas geográficas obtidas por um receptor GPS. Como os lagos ao redor do mundo apresentam alta diversidade de formato, tamanho e profundidade, foram criadas convenções para sua descrição. Podem ser analisados dois grupos de parâmetros morfométricos: diretos e indiretos. Os parâmetros diretos são características obtidas por medições diretas, enquanto os indiretos são calculados a partir destas medições.

## PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DIRETOS

### COMPRIMENTO

É a maior distância em linha reta entre dois pontos de margens sem passagem por terra.

### ÁREA

É o tamanho da superfície de água.

### PERÍMETRO

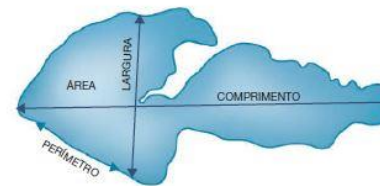
É a linha de contorno que determina a margem.

### LARGURA

É a maior distância entre duas margens, medida perpendicularmente ao comprimento.

### PROFUNDIDADE MÁXIMA

É o ponto de maior profundidade.



Parâmetros morfométricos superficiais de uma lagoa.

## PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS INDIRETOS

### VOLUME

É a quantidade de água acumulada. Com base no volume, pode-se avaliar um lago em termos de quantidade de água disponível.

### PROFUNDIDADE MÉDIA

É a relação entre o volume e a área de um lago.

### PROFUNDIDADE RELATIVA

É a relação entre profundidade máxima e o diâmetro médio do lago, expressa em porcentagem. Lagos com baixa profundidade relativa, abaixo de 2%, são considerados instáveis por reagirem facilmente à ação do vento. As lagoas estudadas possuem valores abaixo de 1%.

### DESENVOLVIMENTO DO PERÍMETRO

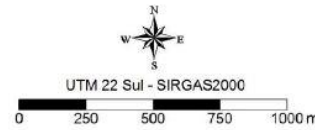
É a relação entre o perímetro medido e o perímetro de um lago redondo de mesma área, ou seja, de valor 1,0. É um índice que serve para avaliar a irregularidade da margem. Quanto maior esta irregularidade, maior é o processo de segmentação. O conjunto das lagoas da Pinguela, do Palmital e das Malvas possui um perímetro duas vezes maior do que um lago perfeitamente redondo com mesma área.



Profundidade máxima e média de uma lagoa.

## LAGOAS DO HORÁCIO, DO INÁCIO, DO RINCÃO E DOS VEADOS

Estas lagoas estão em estágio avançado de envelhecimento natural. Cinturões de plantas aquáticas estão presentes em quase toda a extensão das margens. A vegetação aquática ocupa de forma esparsa o espelho d'água, fixando-se em trechos de menor profundidade.

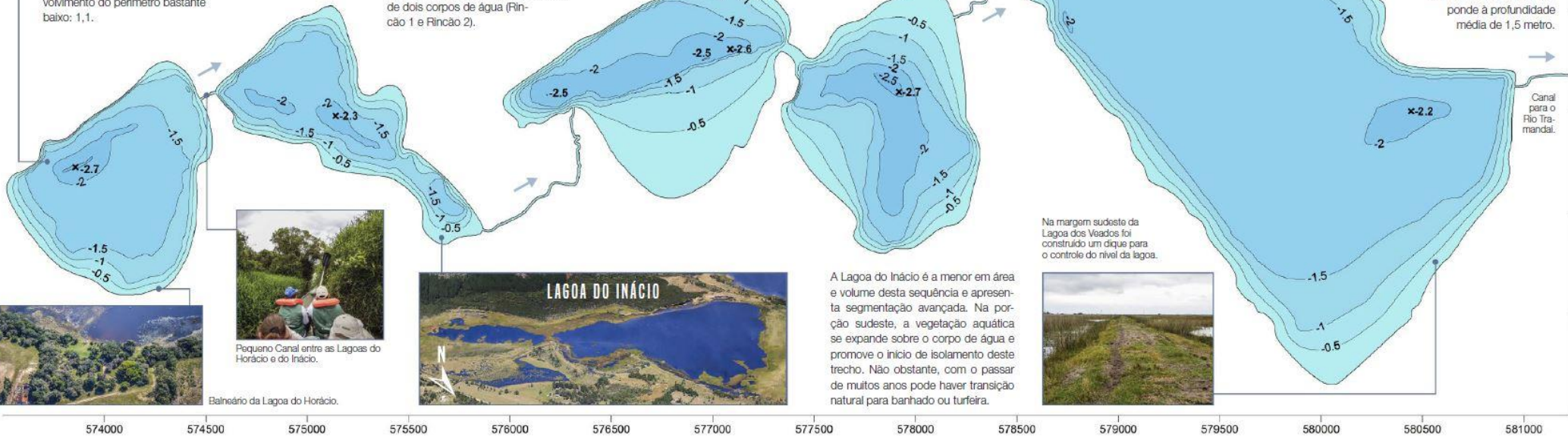


NOME	ÁREA (km²)	PERÍMETRO (km)	COMPRIMENTO (km)	LARGURA (km)	PROFUNDIDADE MÁXIMA (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (m)	PROFUNDIDADE RELATIVA (%)	VOLUME (10³m³)	DESENVOLV. DO PERÍMETRO
Lagoa do Horácio	0,74	3,37	1,18	0,95	2,7	1,4	0,28	1,04	1,11
Lagoa do Inácio	0,55	4,02	1,47	0,73	2,3	1,3	0,27	0,70	1,53
Lagoa do Rincão	1,75	7,82	1,68	1,09	2,7	1,2	0,18	2,05	1,67
Lagoa do Rincão 1 (Oeste)	0,87	4,05	1,47	0,93	2,6	1,1	0,25	0,95	1,22
Lagoa do Rincão 2 (Leste)	0,86	3,65	1,34	1,00	2,7	1,3	0,26	1,09	1,11
Lagoa dos Veados	4,42	9,04	3,24	1,93	2,2	1,5	0,09	6,71	1,21

A Lagoa do Horácio possui balneário com acesso público, fato que torna interessante o conhecimento da profundidade da lagoa. A maior parte dela possui menos de dois metros de profundidade, sendo a profundidade média de 1,4 metro. Apenas um pequeno trecho, afastado da área de banho, possui profundidade maior que 2,5 metros. A lagoa possui formato arredondado, com desenvolvimento do perímetro bastante baixo: 1,1.

A Lagoa do Rincão está em estágio extremamente avançado de segmentação, com a formação de duas bacias quase individualizadas. Em alguns períodos do ano, as plantas aquáticas flutuantes se acumulam no canal entre as partes leste e oeste da lagoa, formando, visualmente, dois corpos de água. Por essas características, a lagoa foi analisada morfometricamente como um corpo de água único e também na situação de dois corpos de água (Rincão 1 e Rincão 2).

A Lagoa dos Veados é a maior em área e volume desta sequência, mas possui a menor profundidade. A relação entre área grande e profundidade pequena confere baixa profundidade relativa à lagoa. O fundo da lagoa é muito plano, o que corresponde à profundidade média de 1,5 metro.



Pequeno Canal entre as Lagoas do Horácio e do Inácio.



Balneário da Lagoa do Horácio.

A Lagoa do Inácio é a menor em área e volume desta sequência e apresenta segmentação avançada. Na porção sudeste, a vegetação aquática se expande sobre o corpo de água e promove o início de isolamento deste trecho. Não obstante, com o passar de muitos anos pode haver transição natural para banhado ou turfeira.



Na margem sudeste da Lagoa dos Veados foi construído um dique para o controle do nível da lagoa.

Canal para o Rio Tramandal.

## LAGOAS DO CACONDE, DAS TRAIÇAS, DO LESSA E DA CAIEIRA

Este grupo apresenta lagoas em estágio intermediário de envelhecimento, que possuem cinturões de plantas aquáticas ao longo das margens, e com processo de segmentação bastante avançado. As lagoas estão interligadas por pequenos canais, desde a Lagoa do Caconde até a Lagoa do Lessa. Entre as lagoas do Lessa e da Caieira, o canal curto e amplo se confunde com a própria área das lagoas. Na parte leste há um canal que escoa a água deste grupo até a Lagoa do Passo.

NOME	ÁREA (km <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (km)	COMPRIMENTO (km)	LARGURA (km)	PROFUNDIDADE MÁXIMA (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (m)	PROFUNDIDADE RELATIVA (%)	VOLUME (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	DESENVOLV. DO PERÍMETRO
Lagoa do Caconde	4,07	9,43	2,86	2,16	4,6	2,2	0,20	8,90	1,32
Lagoa das Traíras	1,29	4,27	1,50	1,15	2,5	1,7	0,20	2,21	1,06
Lagoas Caieira-Lessa	9,82	19,41	4,15	4,18	3,6	1,4	0,10	13,30	1,75
Lagoa do Lessa	7,29	12,80	4,19	2,93	2,9	1,4	0,10	9,99	1,34
Lagoa da Caieira	2,53	6,66	2,19	1,53	2,0	1,3	0,11	3,28	1,18



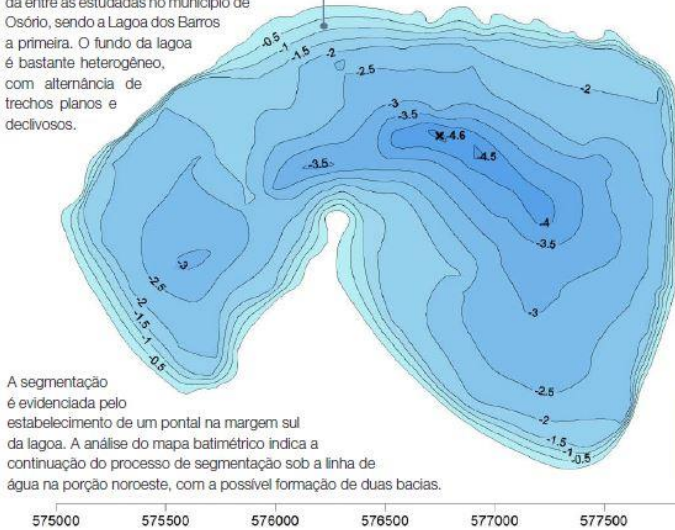
LAGOA DO CACONDE

Com a profundidade máxima de 4,6 metros, a Lagoa do Caconde é a segunda mais profunda entre as estudadas no município de Osório, sendo a Lagoa dos Barros a primeira. O fundo da lagoa é bastante heterogêneo, com alternância de trechos planos e declivosos.



LAGOA DAS TRAIÇAS

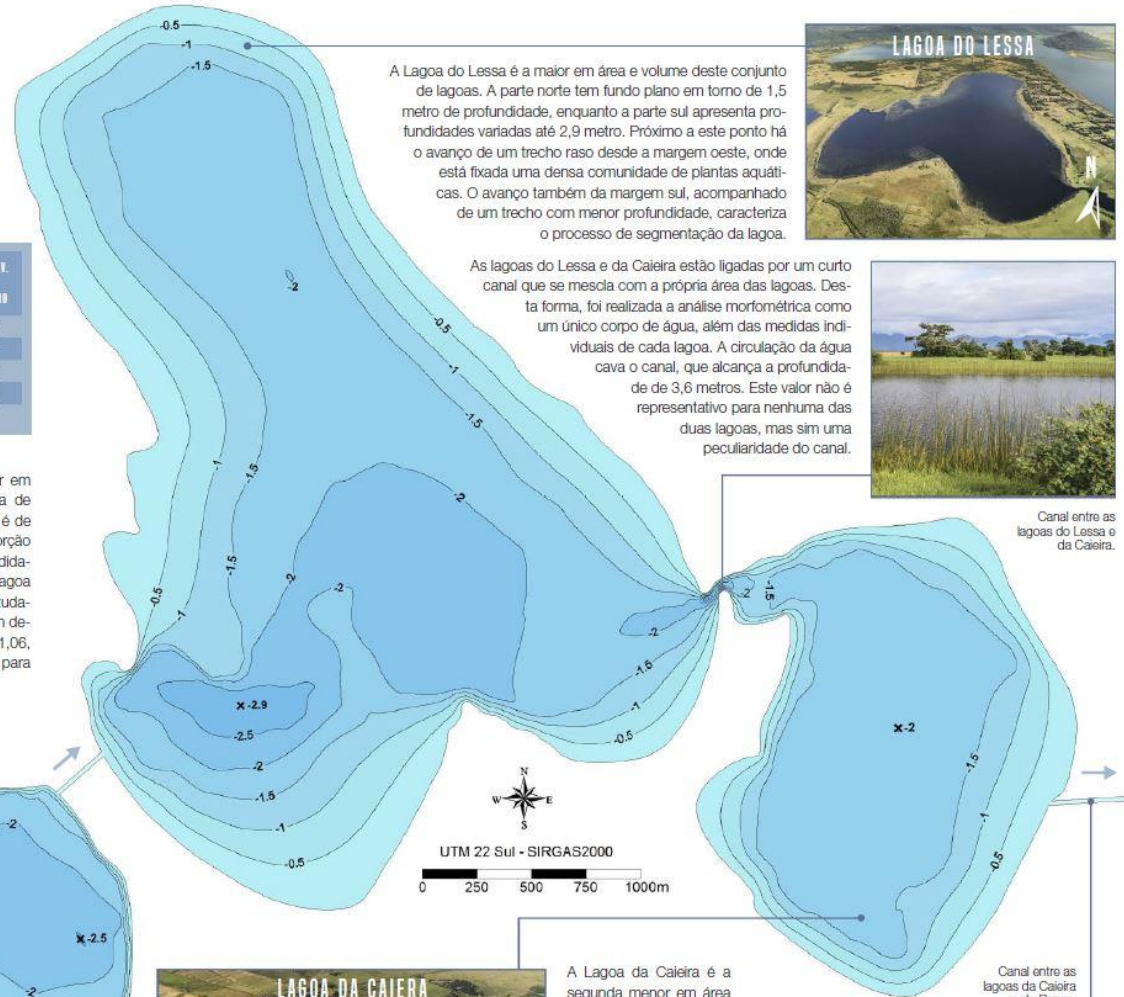
A Lagoa das Traíras é a menor em área e volume desta sequência de lagoas. A profundidade máxima é de 2,5 metros em uma pequena porção da lagoa, uma vez que a profundidade média é de 1,7 metro. É a lagoa mais arredondada entre as estudadas no município de Osório, com desenvolvimento do perímetro de 1,06, muito próximo do valor de 1,0 para um círculo.



A segmentação é evidenciada pelo estabelecimento de um pontal na margem sul da lagoa. A análise do mapa batimétrico indica a continuação do processo de segmentação sob a linha de água na porção noroeste, com a possível formação de duas bacias.



O canal existente desde a Lagoa do Caconde e que deságua na Lagoa das Traíras influencia a hidrologia delas. Durante o período estudado, constatou-se a ação antrópica na manutenção do canal, com sua limpeza e alargamento.



A Lagoa do Lessa é a maior em área e volume deste conjunto de lagoas. A parte norte tem fundo plano em torno de 1,5 metro de profundidade, enquanto a parte sul apresenta profundidades variadas até 2,9 metro. Próximo a este ponto há o avanço de um trecho raso desde a margem oeste, onde está fixada uma densa comunidade de plantas aquáticas. O avanço também da margem sul, acompanhado de um trecho com menor profundidade, caracteriza o processo de segmentação da lagoa.



LAGOA DO LESSA

As lagoas do Lessa e da Caieira estão ligadas por um curto canal que se mescla com a própria área das lagoas. Desta forma, foi realizada a análise morfométrica como um único corpo de água, além das medidas individuais de cada lagoa. A circulação da água cava o canal, que alcança a profundidade de 3,6 metros. Este valor não é representativo para nenhuma das duas lagoas, mas sim uma peculiaridade do canal.



Canal entre as lagoas do Lessa e da Caieira.

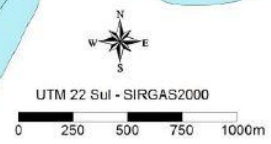


LAGOA DA CAIEIRA

A Lagoa da Caieira é a segunda menor em área e volume deste conjunto de lagoas. Em relação às profundidades média e máxima, é a mais rasa, com valores de 1,3 e 2,0 metros, respectivamente. O mapa batimétrico revela que, a partir da profundidade de 1,5 metro, o fundo da lagoa é plano e homogêneo.



Canal entre as lagoas da Caieira e do Passo.



6699900  
6699400  
6698900  
6698400  
6697900  
6697400  
6696900  
6696400  
6695900  
6695400  
6694900  
6694400

## LAGOAS DA EMBOABA E DA EMBOABINHA

Estas lagoas estão em estágio avançado de envelhecimento e as margens são ocupadas por vegetação aquática em toda sua extensão. Elas possuem formato arredondado, com baixo desenvolvimento do perímetro.

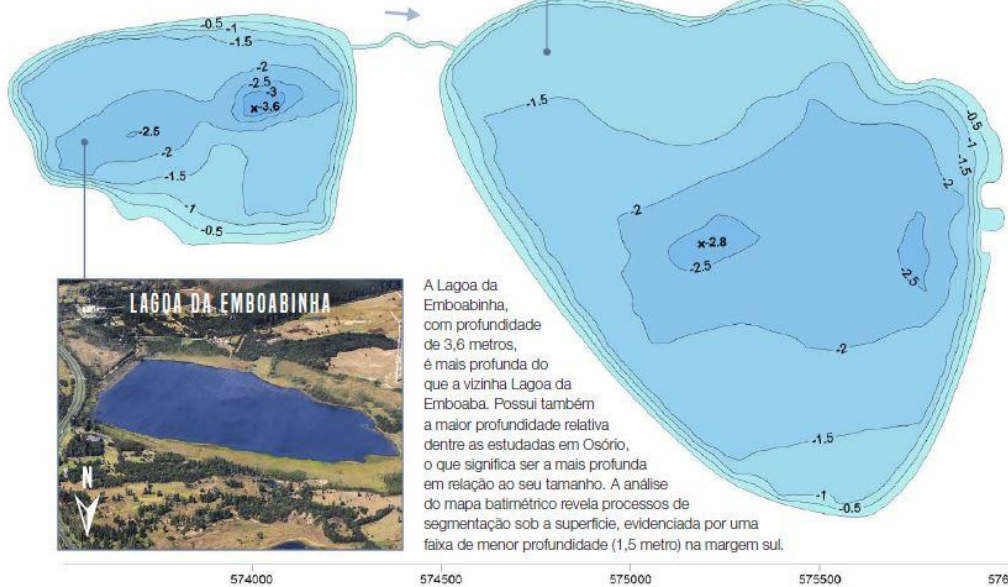
NOME	ÁREA (km²)	PERÍMETRO (km)	COMPRIMENTO (km)	LARGURA (km)	PROFUNDIDADE MÁXIMA (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (m)	PROFUNDIDADE RELATIVA (%)	VOLUME (10 <sup>6</sup> m³)	DESENVOLV. DO PERÍMETRO
Lagoa da Emboaba	1,43	4,74	1,66	1,19	2,8	1,6	0,21	2,31	1,12
Lagoa da Emboabinha	0,44	2,57	0,93	0,66	3,6	1,6	0,48	0,68	1,10

A Lagoa da Emboaba alcança 2,8 metros de profundidade. Entretanto, poucos trechos ultrapassam 2,5 metros. A vegetação aquática se estabelece em amplas áreas da lagoa devido à profundidade média de 1,6 metro.

A Lagoa da Emboaba é utilizada para abastecer a cidade de Tramandai em alguns períodos do ano.



0 250 500 750 1000 m



A Lagoa da Emboabinha, com profundidade de 3,6 metros, é mais profunda do que a vizinha Lagoa da Emboaba. Possui também a maior profundidade relativa dentre as estudadas em Osório, o que significa ser a mais profunda em relação ao seu tamanho. A análise do mapa batimétrico revela processos de segmentação sob a superfície, evidenciada por uma faixa de menor profundidade (1,5 metro) na margem sul.

## LAGOAS DO MARCELINO E DO PEIXOTO

As lagoas do Marcelino e do Peixoto são as mais próximas da área urbana e com maior uso e influência antrópica. Desde o início do século XX, vêm sendo promovidas mudanças na hidrologia destas lagoas, como a construção do canal entre as lagoas do Peixoto e da Pinguela, promovendo uma ligação não existente até então, a fim de se estabelecer a navegação lacustre entre Osório e Torres. Atualmente, boa parte dos canais estão assoreados e só é possível a navegação de embarcações de baixo calado. Assim como os canais, as lagoas já foram intensamente dragadas nos trechos utilizados para a navegação.

NOME	ÁREA (km²)	PERÍMETRO (km)	COMPRIMENTO (km)	LARGURA (km)	PROFUNDIDADE MÁXIMA (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (m)	PROFUNDIDADE RELATIVA (%)	VOLUME (10 <sup>6</sup> m³)	DESENVOLV. DO PERÍMETRO
Lagoa do Marcelino	0,27	2,76	0,86	0,58	1,2	0,7	0,21	0,19	1,51
Lagoa do Peixoto	2,99	8,13	2,99	1,53	2,7	1,6	0,14	4,90	1,33

A Lagoa do Marcelino é a menor das lagoas estudadas em Osório. O formato irregular da lagoa, com grande desenvolvimento do perímetro, facilita o estabelecimento de comunidades de plantas aquáticas e a colmatação do corpo de água. Este processo de deposição de material de origem mineral e orgânica no fundo da lagoa vem se acelerando devido aos despejos provenientes da área urbana. Este é um fator preocupante para a sobrevivência da Lagoa do Marcelino, uma vez que a profundidade máxima é de 1,2 metro e a profundidade média tem somente 70 centímetros.



O formato da Lagoa do Peixoto é bastante peculiar: a largura entre as margens na região central é menor do que nas partes norte e sul. A parte norte é mais plana e rasa do que a parte sul. A profundidade média é de 1,6 metro e a profundidade, superior a 2,5 metros, ocorre em poucos trechos. Na margem leste há uma grande área ocupada pela vegetação aquática que se estabelece nestas áreas de profundidade baixa.



Canal entre as lagoas do Marcelino e do Peixoto.



Balheirão na região nordeste da Lagoa do Peixoto.



Cursos de água perdem velocidade ao desaguar na Lagoa do Marcelino e depositam material nas margens sul e oeste.



0 250 500 750 1000 m

ÁREA URBANA DE OSÓRIO.

66865000  
66864500  
66864000  
66863500  
66863000  
66862500  
66862000

572000 572500 573000 573500 574000 574500

Apesar de possuírem nomes distintos para cada trecho, as lagoas da Pinguela, do Palmital e das Malvas constituem um único corpo hídrico. Este corpo de água tem formato bastante irregular e o maior desenvolvimento do perímetro dentre as lagoas estudadas: 2,36. A extensão da linha de margem alcança o notável valor de 60 quilômetros.

Entre as lagoas da Pinguela e do Palmital, não existe separação nítida, de forma que é incerto afirmar onde termina uma e começa a outra. A análise do mapa batimétrico indica menor profundidade no trecho onde se pressupõe a divisa entre as lagoas.

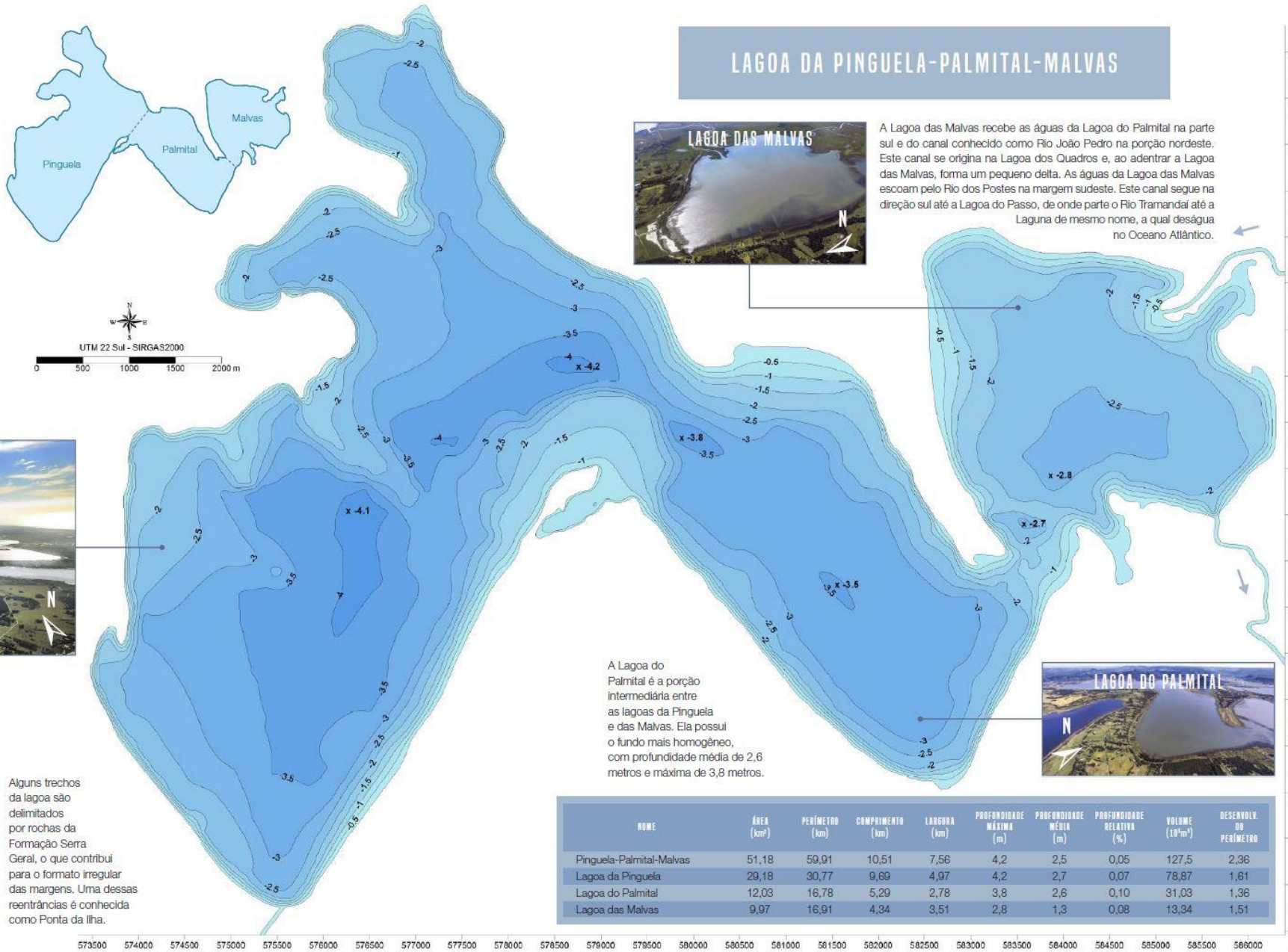
O Pontal da Lagoa delimita parcialmente as lagoas do Palmital e das Malvas. No mapa batimétrico é nítida a avançada segmentação entre elas, como um trecho raso onde a vegetação aquática está estabelecida de forma intensa. A navegação está restrita a um corredor sem vegetação, mantido pelo tráfego de embarcações.



A Lagoa da Pinguela é a maior das três lagoas do conjunto. Apesar de alcançar 4,2 metros, a profundidade média é de 2,7 metros, devido à irregularidade do fundo. Trechos mais rasos indicam processos de segmentação abaixo da linha da água, quando analisado o mapa batimétrico.



Alguns trechos da lagoa são delimitados por rochas da Formação Serra Geral, o que contribui para o formato irregular das margens. Uma dessas reentrâncias é conhecida como Ponta da Ilha.



## LAGOA DA PINGUELA-PALMITAL-MALVAS



A Lagoa das Malvas recebe as águas da Lagoa do Palmital na parte sul e do canal conhecido como Rio João Pedro na porção nordeste. Este canal se origina na Lagoa dos Quadros e, ao adentrar a Lagoa das Malvas, forma um pequeno delta. As águas da Lagoa das Malvas escoam pelo Rio dos Postes na margem sudeste. Este canal segue na direção sul até a Lagoa do Passo, de onde parte o Rio Tramandai até a Laguna de mesmo nome, a qual deságua no Oceano Atlântico.

A Lagoa do Palmital é a porção intermediária entre as lagoas da Pinguela e das Malvas. Ela possui o fundo mais homogêneo, com profundidade média de 2,6 metros e máxima de 3,8 metros.

NOME	ÁREA (km²)	PERÍMETRO (km)	COMPRIMENTO (km)	LARGURA (km)	PROFUNDIDADE MÁXIMA (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (m)	PROFUNDIDADE RELATIVA (%)	VOLUME (10 <sup>6</sup> m³)	DESENVOLV. DO PERÍMETRO
Pinguela-Palmital-Malvas	51,18	59,91	10,51	7,56	4,2	2,5	0,05	127,5	2,36
Lagoa da Pinguela	29,18	30,77	9,69	4,97	4,2	2,7	0,07	78,87	1,61
Lagoa do Palmital	12,03	16,78	5,29	2,78	3,8	2,6	0,10	31,03	1,36
Lagoa das Malvas	9,97	16,91	4,34	3,51	2,8	1,3	0,08	13,34	1,51

573500 574000 574500 575000 575500 576000 576500 577000 577500 578000 578500 579000 579500 580000 580500 581000 581500 582000 582500 583000 583500 584000 584500 585000 585500 586000

6681500 6686000 6690500 6695000 6700000 6705000 6710000 6715000 6720000 6725000 6730000 6735000 6740000 6745000 6750000 6755000 6760000 6765000 6770000

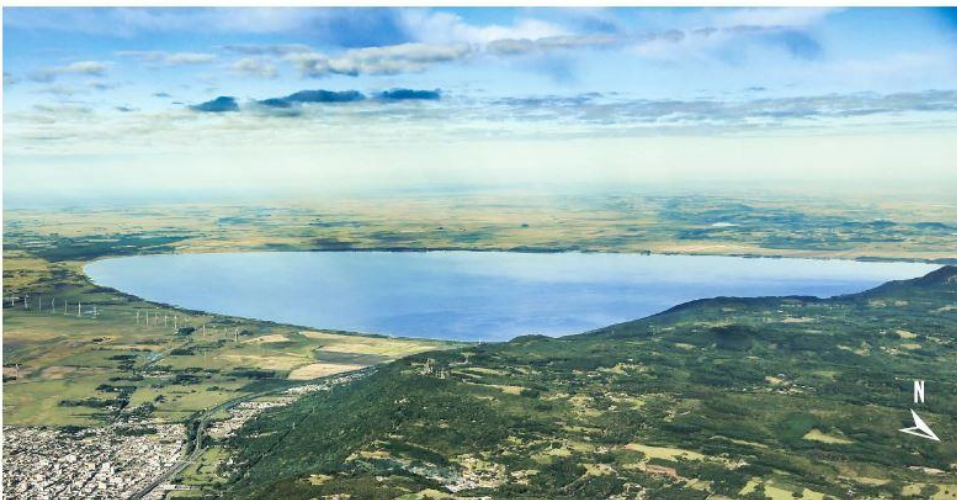
## LAGOA DOS BARROS

A Lagoa dos Barros é a maior lagoa dos municípios de Osório e Santo Antônio da Patrulha e uma das maiores do Rio Grande do Sul. Os valores de área, volume, comprimento, largura e profundidade máxima e média são os maiores dentre as lagoas estudadas. Pela análise do mapa batimétrico, as margens são declivosas e o fundo é bastante plano. Isto significa dizer que, ao se adentrar na lagoa, há um aumento brusco da profundidade e que esta se mantém praticamente constante entre 4,5 e 5,0 metros. Estes valores equivalem à profundidade média de 4,7 metros. O ponto mais fundo da lagoa, com 6,1

metros, localiza-se a apenas 250m da margem norte. Apesar da maior profundidade, a lagoa tem o segundo menor valor de profundidade relativa, uma vez que esse parâmetro relaciona a profundidade máxima com a área do corpo de água. Os valores morfológicos da lagoa impressionam: área de 9.178 hectares, comprimento de 14,5 quilômetros, o que equivale à distância do centro de Osório até o Parque Osório, perímetro superior à distância de Osório até Santo Antônio da Patrulha ou Capão da Canoa e volume 88 vezes maior que a Lagoa do Peixoto e 432 vezes maior que a Lagoa do Horácio.



NOME	ÁREA (km <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (km)	COMPRIMENTO (km)	LARGURA (km)	PROFUNDIDADE MÁXIMA (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (m)	PROFUNDIDADE RELATIVA (%)	VOLUME (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	DESENVOLV. DO PERÍMETRO
Lagoa dos Barros	91,78	39,50	14,54	10,13	6,1	4,7	0,06	432,0	1,16



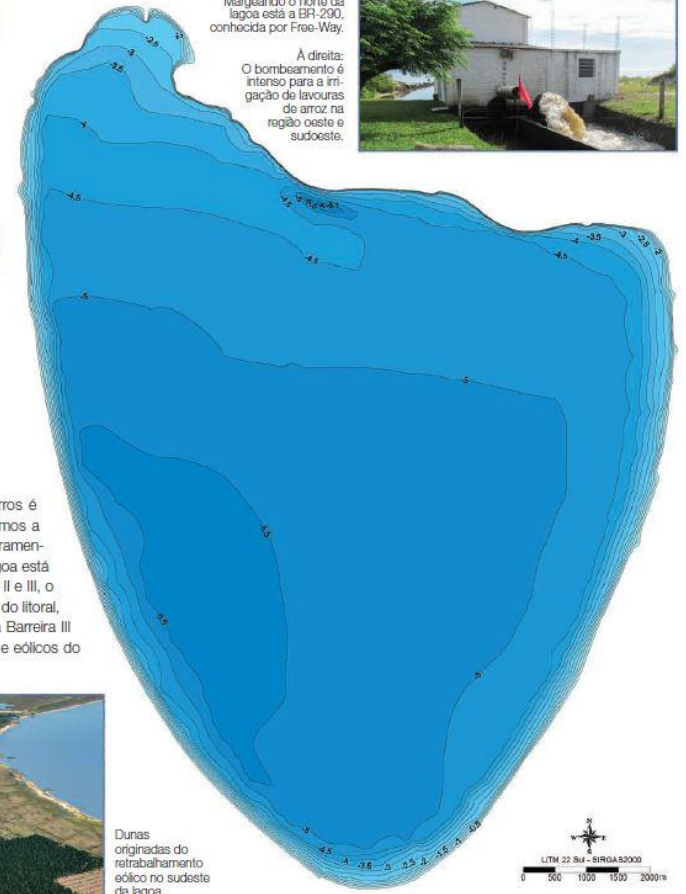
A Formação Serra Geral delimita a parte norte da lagoa.



Acima: Margeando o norte da lagoa está a BR-290, conhecida por Free-Way.



À direita: O bombeamento é intenso para a irrigação de lavouras de arroz na região oeste e sudoeste.



A geologia do entorno da Lagoa dos Barros é bastante diversificada. Ao norte, encontramos a Formação Serra Geral e um pequeno afloramento de arenito da Formação Botucatu. A lagoa está inserida entre os sistemas Laguna-Barreira II e III, o que a diferencia das lagoas mais próximas do litoral, onde estão presentes os sistemas Laguna Barreira III e IV. Ainda assim, há depósitos lagunares e eólicos do Período Quaternário.



Dunas originadas do reabastecimento eólico no sudeste da lagoa.

556000 556000 557000 558000 559000 560000 561000 562000 563000 564000 565000 566000