



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
OCEÂNICA

**CONEXÃO E INTERAÇÃO ENTRE OS CORPOS HÍDRICOS
SUPERFICIAIS DAS LAGOAS MANGUEIRA E MIRIM COM OS
AQUÍFEROS: ESTUDO DE NÍVEIS E DETERMINAÇÃO DO TEMPO
DE RESIDÊNCIA ATRAVÉS DO USO DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS ($\delta^{18}\text{O}$)**

Cláudia de Oliveira Caitano

Dissertação apresentada à Comissão do curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientadores: Prof. Dr. Carlos Francisco Ferreira de Andrade

Rio Grande, 2016

Todos os rios correm para o mar, porém o mar não fica cheio. A água volta para onde nascem os rios e tudo começa outra vez.”

Eclesiástico (1:7)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sabedoria e persistência em aproveitar essa oportunidade e conseguir concluir mais uma etapa da minha vida.

A minha família por todo incentivo e força, em especial ao meu marido e grande amigo, que durante esse tempo me incentivou em todos os momentos difíceis e não deixou que desistisse. Ao meus pequenos Heitor e Leandra, razão pelo qual cheguei até aqui.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Andrade pela paciência e ensinamentos transmitidos com muita dedicação. É um grande professor e amigo.

A todos os meus colegas da Oceânica e Hidroquímica que conquistei durante esse tempo, obrigada por toda ajuda e atenção.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	VII
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO I: INTERAÇÃO ENTRE OS AQUÍFEROS SUPERFICIAIS COM OS NÍVEIS DAS LAGOAS MANGUEIRA E MIRIM.....	4
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
1 INTRODUÇÃO.....	6
1.2 OBJETIVOS.....	7
Objetivo geral.....	7
Objetivos específicos.....	7
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	8
2.1.1 Lagoa Mangueira.....	8
2.1.2 Lagoa Mirim.....	9
2.1.3 Águas subterrâneas.....	10
2.2 METODOLOGIA DE COLETA E PROCESSAMENTO.....	11
2.2.1 Métodos de análise.....	11
2.2.2 Poços permanentes.....	12
2.2.3 Tratamento dos dados.....	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
3.1 FENÔMENOS DE GRANDE ESCALA (EL NIÑO/ LA NIÑA)	21
4 CONCLUSÃO.....	23
5 REFERÊNCIAS.....	24
CAPÍTULO II: USO DO ISÓTOPO ESTÁVEL ($\delta^{18}\text{O}$) NA AVALIAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA E TEMPO DE RESIDÊNCIA DA LAGOA MANGUEIRA.....	27
RESUMO.....	27

ABSTRACT.....	28
1 INTRODUÇÃO.....	29
1.2 ISOTÓPOS AMBIENTAIS ESTÁVEIS.....	30
1.3 OBJETIVOS.....	31
Objetivo geral.....	31
Objetivos específicos.....	31
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	31
2.2 METODOLOGIA DE COLETA E PROCESSAMENTO.....	32
2.2.1 <i>Procedimento amostral</i>	32
2.2.2 <i>Método de laboratório</i>	33
2.2.3 <i>Tempo de residência</i>	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
3.1 RELACIONANDO O ISOTOPO $\delta^{18}\text{O}$ COM A VARIAÇÃO DO NÍVEL DAS LAGOAS MANGUEIRA E MIRIM.....	35
3.2 CÁLCULO DO VOLUME ESTIMADO PARA A LAGOA MANGUEIRA UTILIZANDO O ISOTÓPO ESTÁVEL $\delta^{18}\text{O}$	36
3.3 VALOR ESTIMADO PARA O APORTE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DA LAGOA MANGUEIRA.....	38
4 CONCLUSÃO.....	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
6 REFERÊNCIAS.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Condições de fluxos em lagos/banhados: (a) efluente; (b) influente; e (c) efluente/influente. Adaptado de Winter et al. (1998)	2
Figura 2: Mapa da Lagoa Mangueira com a localização dos poços permanentes 1 e 3.....	12
Figura 3: Nível de água da Lagoa Mangueira com a Lagoa Mirim.....	15
Figura 4: Relação das variações de níveis de água entre a Lagoa Mangueira e Poço 1 (a), Mangueira e Poço 2 (b) e Mangueira e Poço 3 (c).....	17
Figura 5: Relação das variações de níveis de água entre a Lagoa Mirim e Poço 1(a), Mirim e Poço 2(b) e Mirim e Poço 3(c).....	18
Figura 6: Relação das variações de níveis de água entre o Poço 1 e Poço 3(a) e Poço 2 e Poço 3(b).....	20
Figura 7: Relação da variação dos níveis das Lagoas Mangueira e Mirim com a precipitação (ALM).....	22
Figura 8: Distribuição do isótopo estável $\delta^{18}\text{O}$ e níveis das lagoas ao longo do tempo.....	35
Figura 9: Volume de precipitação na região de Santa Vitória do Palmar no período de 2008 a 2010.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Período de coleta dos dados de níveis das Lagoas Mangueia e Mirim juntamente com seu número amostral.....	12
Tabela 2: Período de coleta dos dados de níveis dos poços 1, 2 e 3 juntamente com seu número amostral.....	13
Tabela 3: Anos sob influência dos eventos climáticos (El Niño e La Niña) e suas respectivas intensidades.....	21
Tabela 4: Dados de chuva ao longo da costa do Rio Grande do Sul.....	36
Tabela 5: Precipitação (mm) anual de Santa Vitória do Palmar e Ana, juntamente com o volume da Lagoa para cada ano específico.....	38

INTRODUÇÃO GERAL

A água é a substância mais abundante na superfície do planeta, é parte integral do sistema terrestre. Seu armazenamento ocorre através dos reservatórios, como os oceanos, aquíferos, rios, geleiras, atmosfera e biosfera. Seu ciclo hidrológico acontece através da movimentação da água dentro dos reservatórios, em um processo contínuo de transporte de massas d'água do oceano para a atmosfera (evaporação) e desta, para os continentes (precipitação), e através do escoamento (superficial e subterrâneo) retorna ao oceano (Press *et al.*, 2006).

A maior parte da água doce se encontra na forma de gelo (geleiras), sendo que no continente o maior volume está no subsolo na forma de aquíferos, que variam em termos de extensão e profundidade, sendo o Guarani um dos maiores e mais conhecidos aquífero do mundo. A recarga de água no subsolo ocorre pelo processo de infiltração e alguns fatores como minerais porosos e permeáveis, auxiliam a chegada da água na subsuperfície. O processo de infiltração é guiado pela força gravitacional e tende a preencher os espaços vazios do subsolo até atingir o corpo de água subterrânea. A partir deste processo se tem a formação dos aquíferos.

Nos aquíferos costeiros não se deve considerar somente a descarga de água subterrânea para o mar, mas também é muito importante lembrar do processo da entrada de água salina para o sistema, uma vez que pode ocorrer uma perda total do aquífero quando a qualidade da água sofre uma intrusão salina. Geralmente, os aquíferos ocorrem nas zonas saturadas, pois suas águas podem ser melhor explorada economicamente.

O estado de equilíbrio que existe entre o fluxo de água doce e salgada ocorre nos aquíferos costeiros através da descarga de água doce no oceano. Através de mudanças climáticas ou movimentos relativos a terra e ao mar, os aquíferos sofrem alterações em seus fluxos, em condições normais e a longo prazo (Evangelista, 1989). Winter *et al.* (1998) relatam a grande interação entre corpos hídricos superficiais e água subterrânea, dos quais dependem das características de cada região, principalmente as fisiográficas e climáticas. Já as condições de fluxo da água podem ser do tipo efluente, influente e efluente/influente (figura 1).

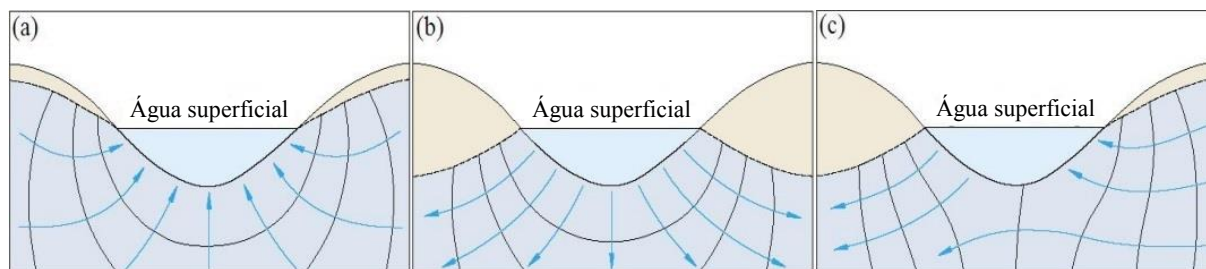


Figura 1: Condições de fluxos em lagos/banhados: (a) efluyente; (b) influente; e (c) efluyente/influente. Adaptado de Winter et al. (1998).

A maior parte da planície costeira do sul do Brasil é composta por areia, de modo que a infiltração através da chuva para o aquífero superficial pode ocorrer com mais facilidade pelo processo dominante quando comparado com outros mecanismos, como, o escoamento de superfície (Schmidt *et al*, 2011).

Vários estudos já foram realizados neste sistema de barreira entre a Lagoa e o Oceano Atlântico. Von – Ahn (2015) apresentou a dinâmica da conexão das águas superficiais da Laguna dos Patos com o sistema de aquífero da região, sendo possível identificar os principais agentes ambientais responsáveis pela alteração do seu nível e sua influência nos aquíferos costeiros. Já, Andrade (2010) demonstrou os processos decorrentes dos fluxos subterrâneos de nutrientes límnicos e marinhos, que ocorrem na Lagoa Mangueira e região de praia adjacente. Souza (2015), apresenta em seus estudos a caracterização dos aquíferos costeiros da barreira arenosa entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico.

Apesar de já existirem várias pesquisas na região da Lagoa Mangueira como estudos realizados por Andrade *et al.*(2008) indicando que os aportes subterrâneos contribuem para o enriquecimento e manutenção das concentrações de elementos dissolvidos nas águas superficiais da Lagoa Mangueira e Milani *et al.*(2008) mostra uma importante ligação entre as águas superficiais e subterrâneas quanto ao aporte de nutrientes. Poucos estudos dão importância a qualidade hidrológica e hidroquímica dos aquíferos presentes nessa região. É de grande interesse compreender as forças envolvidas no seu abastecimento, sua dinâmica, fluxo, qualidade da água e sua situação atual, uma vez que grandes volumes dessas águas são destinadas a diversas atividades, no caso do Rio Grande do sul, grande parte delas são utilizadas na irrigação de lavouras.

Os aquíferos estão presentes em quase todas as partes do mundo, além de serem fonte de água doce também participam de processos como a SGD. Entretanto, ao longo de várias décadas estão sendo ameaçados pelas atividades humanas devido ao seu mau uso, tanto para consumo humano como na sua utilização para processos industriais. Todo esse consumo excessivo pode alterar sua disponibilidade e qualidade através da contaminação por metais e outras substâncias mineiras tóxicas.

Portanto, o capítulo 1 mostra a interação existente entre as Lagoas Mangureira e Mirim com os aquíferos superficiais, através dos dados de níveis. Por conseguinte, o capítulo 2 faz uma avaliação da variação isotópica das águas superficiais das Lagoas Mirim e Mangureira, através de uma série temporal e sua aplicação na variação do isótopo de $\delta^{18}\text{O}$ para estimar o tempo de residência e através deste calcular o volume de água para a Lagoa Mangureira.

Devido a esta característica do sistema Mirim-Mangureira o objetivo desse estudo foi avaliar a interação das águas das Lagoas Mangureira e Mirim com os aquíferos, representados através dos poços permanentes 1, 2 e 3, através dos dados de níveis.

CAPÍTULO I: INTERAÇÃO ENTRE OS AQUÍFEROS SUPERFÍCIAIS COM OS NÍVEIS DAS LAGOAS MANGUEIRA E MIRIM

RESUMO

A região costeira do Rio grande do Sul é caracterizada por apresentar muitos corpos lagunares com sedimentos permeáveis e aquíferos superficiais. Neste ambiente se destaca o complexo lagunar Patos-Mirim-Mangueira, interligados por canais e banhados, que faz parte do maior sistema de Lagoas costeiras do mundo, considerando a Lagoa dos Patos, uma das maiores lagoas existentes no planeta, esta apresenta comunicação com o Oceano Atlântico, e por isto está exposta as oscilações do nível do mar. As Lagoas Mirim e Mangueira não sofrem diretamente este efeito, estando mais propensas a variação de seu nível pela descargas dos rios e ao regime de chuvas. Devido a esta característica do sistema Mirim-Mangueira o objetivo desse estudo foi avaliar a interação das água entre essas Lagoas com os aquíferos superficiais representados através dos poços permanentes 1, 2 e 3. Para isso foram realizadas análises de correlação em uma série de dados de níveis obtidos das Lagoas e dos poços, entre os anos de 2008 a 2013. Também foi analisado a influência dos fenômenos de grande escala (El niño/ La niña), na variação dos níveis das Lagoas. As correlações positivas entre as Lagoas e os Poços 1, 2 e 3, sugerem que existem uma interação entre as Lagoas com o aquífero em alguns locais específicos, ou seja, elas podem estar sendo abastecidas pela mesma fonte de recarga sendo os sedimentos permeáveis uma via de escoamento que faz com que o aquífero responda aos efeitos de oscilação dos níveis das lagoas Mangueira e Mirim. Os valores negativos obtidos através da correlação entre o Poço 2 com as Lagoas, indicam a existência de aquíferos que não estão em equilíbrio com o nível dessas Lagoas, provavelmente o tipo de aquífero presente na região 2 não se encontra em contato com estes corpos lagunares e por não sofrer a sua ação, não corresponde as oscilações de nível. Os aquíferos, como um todo, apresentam uma dinâmica dependente em parte das lagoas, sendo que em algumas regiões isto aparece de forma intensa como nas margens da Lagoa Mangueira e nos sedimentos arenosos de praia (Poço 3). A boa correlação entre o Poço 2 e 3 demonstraram que a influência em seus níveis não está ligada somente as Lagoas, mas a outros processos como a precipitação (não avaliada neste estudo).

ABSTRACT

The coastal region of Rio Grande do Sul is characterized by to present many lagoon bodies with permeable sediments and surface aquifers. This Patos-Mirim-Mangueira lagoon complex, interconnected by canals and wetlands, is part of the largest system of coastal lagoons in the world, considering the Lagoa dos Patos one of the largest lagoon on the planet, it presents communication with the Atlantic Ocean, and for this exposed to the oscillations of sea level. The Mirim and Mangueira Lagoons don't suffer directly this effect, being more prone to the variation of their level by the discharges of the rivers and the regime of rains. Due to this characteristic of the Mirim and Mangueira system the objective of this study was to evaluate the interaction of water between these ponds with the surface aquifers represented through the permanent wells 1, 2 and 3. For this, correlation analyzes were performed on a series of data levels obtained from the lagoon sand the wells, between the years from 2008 to 2013. It was also analyzed the influence of large scale phenomena (El Niño / La Niña), in the variation of the lagoon levels. Positive correlations between ponds and Wells 1, 2 and 3 suggest that there are an interaction between the ponds and the aquifer in some specific places, that is, they maybe being supplied by the same recharge source and the permeable sediments being a way which causes the aquifer to respond to the effects of oscillation of the Mangueira and Mirim lagoon levels. The negative values obtained through the correlation between well 2 and lagoons indicate the existence of aquifers that are not in equilibrium with the level of these ponds, probably the type of aquifer present in region 2 is not in contact with these lagoon bodies and not suffering its action, does not correspond to level oscillations. The aquifers, as a whole, present a dynamics dependent in part on the lagoons, and in some regions this appears intensely as on the banks of Mangueira and in the sandy sediments of the beach (Well 3). The good correlation between well 2 and 3 demonstrated that the influence on their levels is not only related to the lagoons, but to other processes such as precipitation (not evaluated in this study).

1 INTRODUÇÃO

A planície costeira do Rio Grande do Sul, desenvolveu-se a partir da justaposição lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna barreira. Através dos limites geográficos estabelecidos houve a formação das Lagoas Mirim-Mangueira, as quais são caracterizadas por serem rasas, paralelas ao oceano e separadas por diferentes barreiras geológicas (Villwock *et al.*, 1995; Tomazelli *et al.*, 2005).

Essa região costeira é caracterizada por apresentar o maior sistema lagunar do mundo, mais conhecido como Patos-Mirim-Mangueira, e ao longo de muitas décadas ela vem sendo observada nas mais diversas linhas de estudo. Andrade *et al.* (2011) estudaram a relação do aquífero com as lagoas na região costeira na América do Sul, a partir dos nutrientes ligados aos aportes subterrâneos, enquanto que Attisano *et al.* (2008) mostra a necessidade de incluir o transporte de água subterrânea da Lagoa Mangueira para a região costeira. Tanto a Lagoa dos Patos, como as Lagoas Mangueira e Mirim apresentam uma grande importância econômica, social e ecológica para a região.

A Lagoa Mirim compreende um espaço geográfico binacional e está conectada à Lagoa dos Patos através do canal São Gonçalo, formando o maior sistema lagunar da América do Sul. O principal uso das águas está na irrigação das lavouras de arroz, tanto em território brasileiro como no uruguaio.

A Lagoa Mangueira é a segunda maior Lagoa de água doce do estado, ela é separada do Oceano Atlântico através de um cordão arenoso permeável. O seu volume está condicionado às descargas superficiais sazonais, precipitação, evaporação e seus múltiplos usos, tanto para atividades econômicas ou para consumo humano (Vieira *et al.*, 1988).

A parte norte da Lagoa Mangueira é caracterizada por ser rasa e apresentar uma grande quantidade de vegetação submersa formada por banhados, enquanto que na parte sul existe a ocorrência de depósitos de conchas, no qual exerce grande influência na qualidade da água através da liberação de compostos alcalinos pela coluna d'água (Santos *et al.*, 2008).

Portanto, este trabalho procura promover um melhor entendimento da interação existente entre os níveis de água das Lagoas Mangueira e Mirim, com os aquíferos superficiais

através de uma série de dados (2008 a 2013), ressaltando que esses aquíferos são considerados um recurso natural de grande importância para a região em estudo.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo geral:

- Analisar a conexão existente entre os aquíferos com os corpos lagunares presentes na região costeira do sul do Brasil, através do balanço de nível.

Objetivos específicos:

- Compreender a influência sazonal nos níveis da Lagoa Mangueira e Mirim;
- Verificar as forçantes ambientais que exercem influência no nível das Lagoas (Mangueira e Mirim), por consequência, no aquífero superficial, através da precipitação;
- Comparar a oscilação e manutenção dos níveis de água em uma lagoa sem presença de tributários– Lagoa Mangueira e, de outra com fluxo livre (com aporte fluvial e escoamento de água) – Lagoa Mirim;

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

2.1.1 Lagoa Mangueira

A planície costeira do sul do Brasil formou-se através das sucessivas flutuações do nível do mar no período quaternário. Já a formação da Lagoa Mangueira ocorreu no período holoceno há 5.100 anos atrás pelo abaixamento do nível das águas oceânicas (Villwock *et al* 1995), com isso os sedimentos começaram a ser depositados, o que fez com que os canais fossem fechados e assim surgisse a Lagoa. Sua geologia é complexa e pouco conhecida, pois essa região apresenta como característica, camada de sedimentos arenosos de quartzo (Tomazelli *et al* 2000).

A separação da Lagoa Mangueira do oceano ocorreu através de uma barreira arenosa permeável desde o Holoceno inicial. Toda água da Lagoa Mangueira provém da precipitação e do lençol freático, já que ela não possui aporte de águas fluviais e nem comunicação superficial com o oceano (Andrade *et al*, 2008). Através do acúmulo de sedimentos e o movimento das águas do oceano atlântico formou-se a planície costeira gaúcha, uma região de praias arenosas causada pelos processos erosivos e deposicionais (Villwock *et al*, 1995).

Seu comportamento é semelhante a um lago, em que as perdas de água ocorrem através dos processos de irrigação, evaporação, fluxos sub-superficiais para o oceano e fluxos superficiais sazonais em direção ao banhado do Taim (Santos *et al*, 2008). O verão é considerado o menor período de pluviosidade, quando ocorre uma elevada taxa de evapotranspiração e irrigação das lavouras, o que ocasiona a diminuição drástica do nível de água da lagoa. Já no inverno e primavera ocorrem altas taxas de precipitação, favorecendo o aumento do nível da Lagoa Mangueira (Andrade, 2010).

A águas da Lagoa Mangueira estão interligadas à Lagoa Mirim, através do sistema de banhados do TAIM. Dentre as atividades desenvolvidas na região, suas águas são utilizadas na pesca, recreação e irrigação de lavouras, sendo este último o promotor do maior consumo entre os meses de novembro a fevereiro, período em que ocorre o cultivo deste cereal (Andrade *et al*, 2011).

O clima característico da região é subtropical, com inverno frio e chuvoso. Sendo o verão seco e quente, além da presença de fortes ventos (Andrade *et al*, 2011).

Outro ponto em questão é o evento ENOS (El Niño-Oscilação Sul), no qual El Niño é resultante do aquecimento diferenciado do Oceano Pacífico e enfraquecimento dos ventos alísios na região equatorial, enquanto que La Niña corresponde ao esfriamento das águas do Pacífico e aumento dos ventos alísios nessa mesma região, provocando alterações climáticas em várias partes da terra, como as variações nas distribuições das chuvas (Oliveira, *et al.*, 2014; Melo, 1999).

No caso do Brasil, as regiões norte e nordeste sofrem pelo baixo volume de chuva, enquanto que no sul o volume é bem maior, ocorrendo diversas inundações durante esse período (Melo, 1999).

2.1.2 Lagoa Mirim

É o segundo maior corpo hídrico da América Latina e apresenta um regime de águas compartilhadas entre o Brasil e o Uruguai. Sua área superficial é de aproximadamente 3.749 km², sendo 49% em território brasileiro e 51% em território uruguaio (Oliveira *et al*, 2014). Os principais aportes de água chegam pelos rios Jaguarão, Cebolati, Pelotas e pelos arroios Sarandi Grande, Santa Vitória e Rio Grande (Vieira, 1983). A Lagoa Mirim é relativamente rasa, com aproximadamente 6m de profundidade e está ligada à Lagoa dos Patos através de um canal natural de 76 km de comprimento e 240 m de largura, mais conhecido como Canal do São Gonçalo (Oliveira *et al*, 2014).

A conexão entre a Lagoa Mirim e a Lagoa dos Patos ocorre através de um canal natural, chamado de Canal São Gonçalo; (Vieira *et al*, 1988). A Lagoa Mirim é alimentada por uma ampla malha hidrográfica e por abundantes precipitações na 8 bacia de recepção. O seu nível oscila entre 2 e 3 m e produz alagamentos nas planícies aluviais, de forma que, seu volume pode alcançar $17 \times 10^9 \text{ m}^3$, além de variar em função das condições hidrológicas e da vazão do Canal São Gonçalo (Vieira *et al*, 1988).

Como as águas da Lagoa Mirim são destinadas a diversas atividades, como abastecimento público e irrigação, foi construída uma Barragem-Eclusa, no Canal de São Gonçalo, próxima a Lagoa dos Patos afim de evitar o contato da água doce com a água salgada, sendo possível a utilização desse recurso hídrico na plantação de arroz (Machado, 2007). O escoamento da água ocorre geralmente da Mirim para a Lagoa dos Patos, porém pode ser revertido quando o nível da Mirim estiver muito baixo.

Os processos hidrodinâmicos na Lagoa Mirim são modulados por dois fatores principais, a descarga fluvial de seus afluentes, que determina o volume de água da Lagoa Mirim, e a ação do vento, em escala sinótica, que controla a circulação de água neste sistema (Oliveira *et al*, 2015). Hirata *et al*. (2010) mostraram ainda que mudanças de longo período na Lagoa Mirim estão fortemente associadas aos fenômenos de El Niño-Oscilação Sul.

Machado (2007) compilou dados de precipitação e calculou séries históricas de vazão, observando que a Lagoa Mirim e o Canal São Gonçalo se alternam entre uma alta disponibilidade hídrica e períodos de déficit hídrico. A Lagoa Mirim por sua vez, recebe aporte de seus afluentes, muito maior que a vazão estimada pelo Canal São Gonçalo para a Lagoa dos Patos, indicando que a Lagoa Mirim atua como um grande reservatório de água doce (Oliveira *et al*, 2015).

2.1.3 Águas subterrâneas

De maneira simplificada, as águas subterrâneas podem ser definidas como aquelas que ocorrem no subsolo, ocupando todos os espaços vazios ali encontrados. Elas são bem mais protegidas que as águas superficiais e na maioria das vezes, podem garantir o fluxo permanente nos cursos d'água superficiais nos períodos de estiagem (Filho *et al*, 2011).

Por outro lado, os aquíferos são definidos como sendo uma formação geológica que contém água e permite que parte dessa água se movimente de maneira natural em seu interior. Portanto, os aquíferos são considerados o maior reservatório de água potável do mundo, embora sua distribuição não seja igual em todo planeta. Existem áreas em que há uma grande predominância desses aquíferos, enquanto em outras é quase inexistente a presença do mesmo.

Em regiões costeiras eles estão situados em planícies próximas ao mar e são geralmente do tipo freático, livres e muito vulneráveis. A sua classificação é de acordo com a pressão das águas nas suas superfícies limítrofes.

Sendo um recurso natural limitado, as águas subterrâneas tem sua importância como recurso hídrico e como componente do meio ambiente, garantindo o fluxo das bacias hidrográficas e o equilíbrio ecológico (Filho *et al*, 2011). Suas altas taxas de infiltração, relevo e permeabilidade, são alguns dos fatores que podem aumentar o volume das águas subterrâneas (Attisano *et al*, 2013).

Estudos realizados por Andrade *et al*. (2011), mostram que os canais artificiais presentes na região da Lagoa Mangueira, responsáveis pelo bombeamento de água para as lavouras, apresenta uma importante fonte de água subterrânea rica em nutrientes. Portanto, é na região dos canais que ocorrem a principal contribuição da advecção das águas subterrâneas.

Em se tratando da Lagoa Mangueira, estudo realizado por Santos *et al*. (2008) mostrou através do balanço de massa de radônio que a alimentação desse sistema (Lagoas e aquíferos) ocorre com 98% de água da chuva e 2% de águas subterrâneas. Cerca de 70% das entradas de águas subterrâneas está ligado aos canais de irrigação e dragagem presentes nessa região. A maior parte desses canais, cerca de 75%, estão localizados no extremo sul da Lagoa (Schmidt *et al*, 2011).

2.2 METODOLOGIA DE COLETA E PROCESSAMENTO

2.2.1 Métodos de análises

Os dados de níveis da Lagoa Mangueira foram obtidos através de medições diárias em régua linimétrica referenciadas e niveladas em um ponto fixo ao sul da Lagoa, no período de 2008 a 2012. Já os dados de níveis da Lagoa Mirim, foram adquiridos pela Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM) da Universidade Federal de Pelotas, durante os anos de 2008 a 2013. Utilizou-se os valores de níveis do posto de Santa Vitória do Palmar, já que esse ponto de coleta se encontra mais próximo das Lagoas. O ponto de medida dos níveis está

localizado a margem sul da Lagoa Mirim e seu nível de água também foi medido utilizando uma régua linimétrica.

A tabela 1 apresenta o período trabalhado e o número amostral para as Lagoas Mangueira e Mirim.

Tabela 1: Período de coleta dos dados de níveis das Lagoas Mangueira e Mirim juntamente com seu número amostral.

Lagoa	Período de dados	Número amostral
Mangueira	15/05/2008 – 31/10/2012	1304
Mirim	01/01/2008 – 15/05/2013	1895

2.2.2. Poços permanentes

Os níveis das águas subterrâneas foram obtidos através da perfuração de 3 poços piezométricos mult-níveis localizados ao sul da Lagoa Mangueira (poços 1 e 2) e ao norte (poço 3), sendo eles: (poço1 -33.494517° lat e -53.143367° long; poço 2 e poço3 -32.730367° lat - 52.453633° long). A figura 2 representa a localização dos poços permantes 1 e 3.

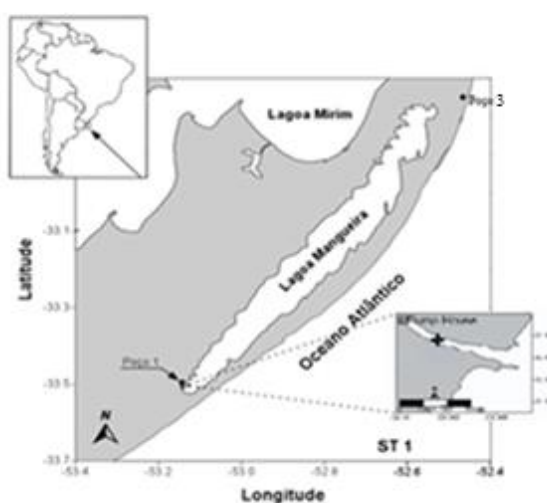


Figura 2: Mapa da Lagoa Mangueira com a localização dos poços permanentes 1 e 3.

A profundidade de cada poço corresponde as águas do lençol freático superficial, que provavelmente, estejam interagindo com as águas superficiais das lagoas. Seus respectivos períodos de dados e o número amostral estão descritos na tabela 2.

Tabela 2: Período de coleta dos dados de níveis dos poços 1, 2 e 3 juntamente com seu número amostral.

Poço	Profundidade	Período de dados	Número amostral
Poço 1	9 metros	16/02/2008 – 14/12/2009	500
Poço 2	9 metros	19/03/2010 – 16/07/2013	1216
Poço 3	3 metros	16/07/2008 – 12/02/2010 21/09/2011 – 26/07/2013	1251

Um sensor HOBO capaz de registrar em pressão o nível de água por segundo, foi inserido dentro de cada poço estudado. Os dados recebidos através desse sensor foi registrado e processado pelo software HOBO data loggers. Seu nível de água subterrânea é representada pela carga hidráulica ou pressão hidrostática, o que torna possível verificar através da pressão sofrida, a variação do nível de água do lençol freático.

Para avaliar a interação da pressão existente entre aquíferos, representados pelos poços 1, 2 e 3 com o nível das águas superficiais das Lagoas Mangueira e Mirim, foi aplicada a análise estatística de correlação de Pearson.

Devido a necessidade de trocar o sensor de posição, o poço 1 apresentou uma distância de 500 metros do poço 2. Já o poço 2, localizado ao norte da Mangueira e próximo a praia está a uma distância de 100 km dos demais, em um solo caracterizado por ser muito arenoso e permeável. A precipitação pluviométrica diária da região em estudo (Lagoa Mangueira e Mirim) foram adquiridos através da ANA (Agência Nacional de Águas), sendo esta composta por 3 estações meteorológica (Granja Cerrito, Curral Alto e Granja Osório), para a utilização dos dados de precipitação utilizou-se uma média desses 3 pontos. Tanto os dados de níveis como os de precipitação foram obtidos pela Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim

(ALM) através do site (<http://wp.ufpel.edu.br/alm/banco-de-dados-da-bacia-da-lagoa-mirim/813-2>), neste estudo utilizou-se os valores do posto de Santa Vitória do Palmar, devido à proximidade com as Lagoas.

2.2.3 Tratamento dos dados

Devido ao grande número de dados a serem analisados, utilizou-se o coeficiente de Pearson, ele tem como função verificar a existência de uma correlação linear entre as variáveis e seus valores estão entre os intervalos de -1 a 1. Considera-se uma boa correlação quando o valor de $|r|$ se aproxima de 1.

A metodologia utilizada na comparação de níveis das Lagoas Mangueira e Mirim e dos poços permanentes 1, 2 e 3, correspondem a utilização de suas variações, devendo ser normalizados entre 0 e 1, de forma adimensional, como mostra a equação abaixo.

Para a variação de nível interno do poço (ΔN), num intervalo de tempo considerado será dada por:

$$\Delta N = \frac{\bar{N} - N_{min}}{\Delta N_t}$$

Onde:

$\bar{N}$ é o nível médio diário no interior do poço;

N_{min} é o valor mínimo do nível interno do poço;

ΔN_t é a diferença entre os valores mínimo e máximo observados para nível interno do poço.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados bruto de níveis das Lagoas Mangueira e Mirim, juntamente com dos poços permanentes (1, 2 e 3) gerado pelo sensor de pressão HOB0 foram tratados através do coeficiente de Pearson, sendo esse um valor numérico que serve como medida de associação entre duas variáveis. Portanto, os resultados foram submetidos a uma análise de correlação entre si e plotados, a fim de buscar uma possível interação entre Lagoas e aquíferos.

A figura 3 apresenta a relação entre os dados de níveis das Lagoas Mirim e Mangueira entre maio/ 2008 a outubro/ 2012, tendo uma correlação de ($r = 0,56$). Apesar de apresentar semelhanças nas oscilações dos seus níveis, estes corpos hídricos são distintos quanto ao processo de entrada de água. O volume de água dessas Lagoas estão condicionadas a precipitação, ação dos ventos e a descarga fluvial de seus afluentes (Oliveira *et al.*, 2015). A Lagoa Mirim recebe vários tributários que atuam na manutenção do seu nível, enquanto a Mangueira, uma Lagoa sem a presença de tributários, é abastecida predominantemente pela precipitação (Andrade *et al*, 2010).

Para explicar este comportamento das lagoas, Vaz *et al.* (2006) demonstrou que as embora de características distintas, tanto em dimensão quanto em aporte de água, estes dois corpos lagunares respondem de forma similar as variações sazonais de nível, principalmente quanto ao seu aporte pluviométrico.

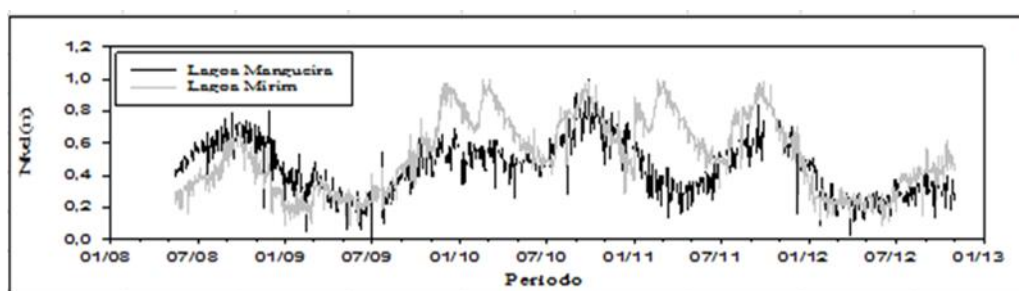


Figura 3: Nível de água da Lagoa Mangueira com a Lagoa Mirim.

Partindo desta análise, supõe-se que os aquíferos que possuem interação com os corpos hídricos superficiais também sofrem alteração do seu nível e podem apresentar uma correlação com o nível dos corpos lagunares.

Nesta região os aquíferos são rasos e afloram na superfície costeira, assim existe a possibilidade de ocorrer interação dos corpos hídricos superficiais com esses aquíferos. Estudos similares feitos por Souza, (2015) e Von-Ahn (2015), já comprovaram a existência desta relação na barreira que separa a Lagoa dos Patos do Oceano Atlântico.

Para avaliar a relação existente nestes sistemas, foram investigados os dados de níveis da Lagoa Mangueira com o poço1 de profundidade 9m, entre o período de maio/2008 a dezembro/2009. Nesta análise obteve-se uma correlação no valor de ($r = 0,56$), esse resultado mostra que existe uma relação e uma possível interação entre a lagoa e o aquífero superficial, ou seja, as águas apresentam um comportamento semelhante entre as suas oscilações (Fig.4a).

Outra análise de correlação realizada entre o poço 2, também próximo à Lagoa Mangueira (distante 500 metros do poço 1), entre março/2010 a julho/2013, mostrou um resultado negativo ($r = - 0,053$). Embora estes poços estejam localizados muito próximos um do outro, estes podem compartilhar do mesmo sistema de aquífero, porém não são abastecidos pelas águas da Lagoa, isso pode ser observado através da figura 4(b), em que praticamente não existe interação do corpo lagunar com este aquífero em relação a oscilação de seus níveis.

Verificando se os aquíferos entre a Lagoa Mirim e o Oceano possuem comportamentos semelhantes, ou seja, que este efeito se estende para aquíferos próximos a praia, foi avaliado o poço3 com os dados de nível da Lagoa Mangueira, no período de julho/ 2008 a outubro/ 2012. A correlação obtida foi de ($r = 0,32$), este poço está distante a aproximadamente 6 km da região do Banhado do Taim e próximo a praia, portanto, o aquífero superficial inserido neste sistema sedimentar também pode sofrer a ação da oscilação do nível tanto da lagoa como do mar e assim interferir nos dados de nível do aquífero e, por consequência, na análise de correlação (Fig.4c).

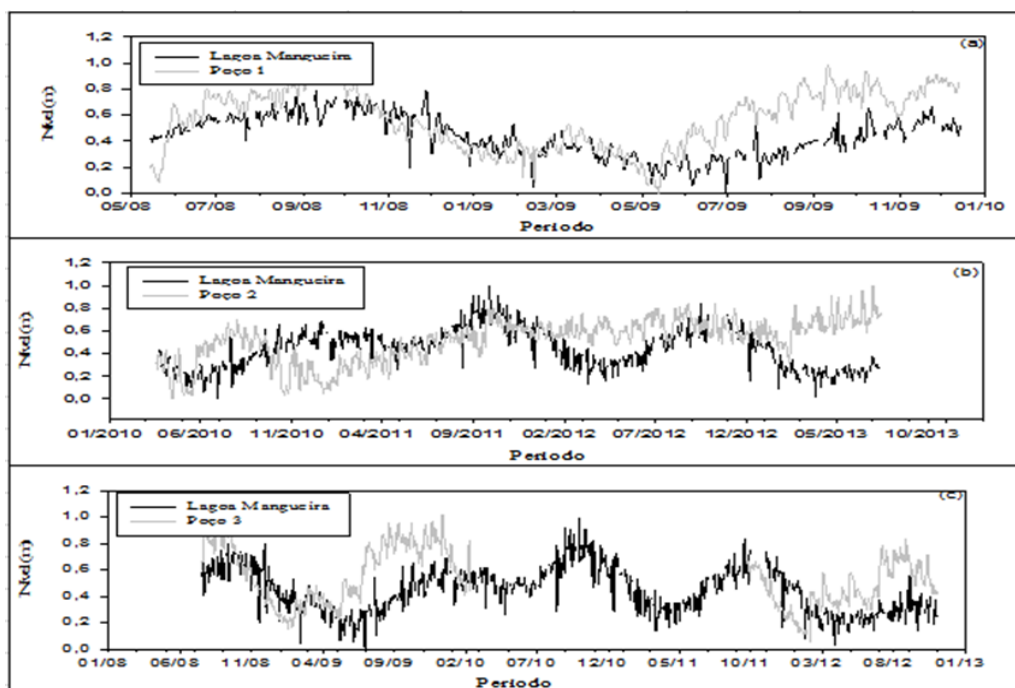


Figura 4: Relação das variações de níveis de água entre a Lagoa Mangueira e Poço 1 (a), Mangueira e Poço 2 (b) e Mangueira e Poço 3 (c).

Sendo assim, avaliamos se o nível da Lagoa Mirim teria uma boa correlação com o nível dos aquíferos que se encontram distante deste grande corpo lagunar. Analisamos a oscilação de nível da Mirim com o poço 1 com os resultados das séries temporais entre maio/2008 a dezembro/ 2009, onde os níveis de água apresentaram um comportamento bem semelhante (Fig.5a), ambas oscilaram no mesmo período e apesar da distância existente entre o poço 1 e a Lagoa Mirim, o resultado da correlação encontrado foi de ($r = 0,60$). Sendo assim, consideramos que esse sistema (lagoas e aquíferos) apresenta um condição onde a oscilação dos níveis respondem as variações sazonais para os aquíferos próximos aos grande corpos lagunares ou aqueles interligados por sedimentos permeáveis.

Foram confrontados os dados da Lagoa Mirim com o poço 2 entre março/2010 a maio/2013, pela correlação que apresentou-se negativa ($r = - 0,47$), nota-se que provavelmente não existe semelhança na conexão entre os aquíferos superficiais, ou seja, eles podem estar sendo abastecidos por fontes de recargas diferentes ou pode estar ocorrendo atraso na recarga do aquífero (Fig 5b).

Já os estudos de níveis da Lagoa Mirim com o poço 3 (distante 120 km da Lagoa), no período de julho/2008 a maio/2013, a correlação obtida foi no valor de ($r = 0,47$). A condição de equilíbrio entre a Lagoa e o aquífero permanece, mesmo existindo uma distância considerável entre eles (Fig.5c).

Todo esse processo de variação de nível presente nessa região costeira, demonstra que os corpos hídricos superficiais, Mangueira e Mirim, estão em equilíbrio com os aquíferos superficiais. Portanto, essa região tem suas águas compartilhadas entre estes sistemas e, apesar de sua grande dimensão, apresenta um ambiente interativo e dinâmico, pois possui mudanças sazonais que influenciam em seus níveis de água.

Estudos realizado por Von-Ahn (2015) mostraram que essa região costeira é caracterizada pela grande presença de sedimentos permeáveis a margem das lagoas e este proporciona o fluxo de água; dependendo da condutividade hidráulica ou a diferença de níveis entre os aquíferos e os corpos hídricos superficiais, pode haver interferência na velocidade do fluxo e no tempo em que a água precisa para conectar ao aquífero.

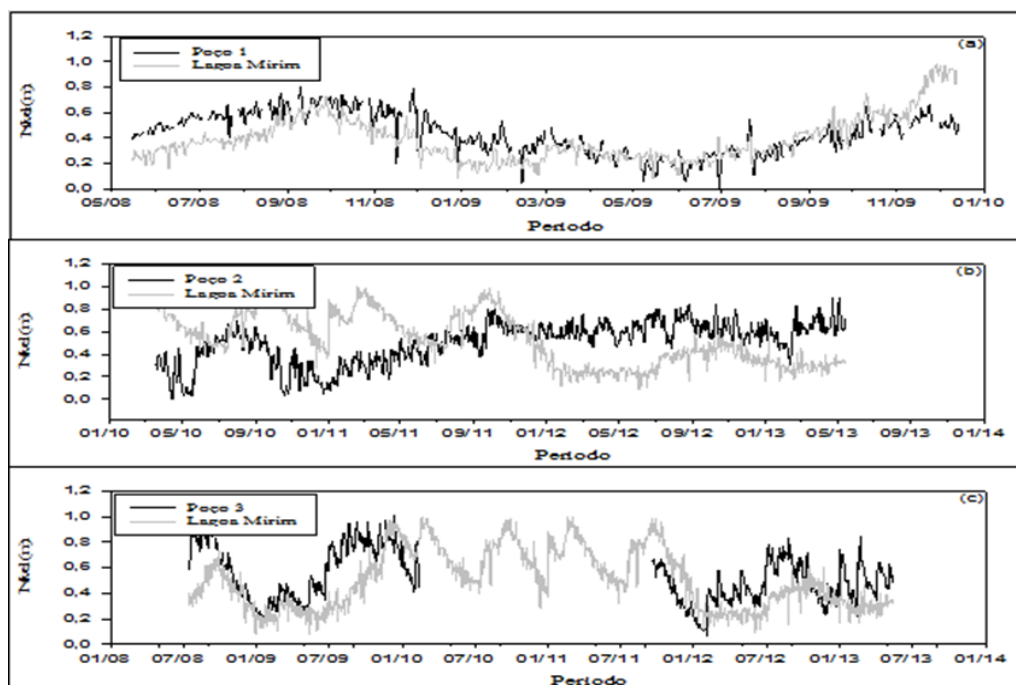


Figura 5: Relação das variações de níveis de água entre a Lagoa Mirim e Poço 1(a), Mirim e Poço 2(b) e Mirim e Poço 3(c).

Com o intuito de verificar o grau de correlação entre as água subterrâneas dos poços permanentes através das oscilações sazonais, foram cruzados os dados de níveis do poço 1 com o poço 3 (100 km distância entre eles), no período julho/2008 a dezembro/2009, em que foi possível obter um valor elevado na correlação ($r = 0,92$). Isso mostra que os níveis das águas estão em equilíbrio e que sua oscilação ocorre de forma similar. Schmidt *et al.* (2011), mostrou através de estudos com isótopos estáveis (δD e $\delta^{18}O$) que existe uma assinatura isotópica similar entre a Lagoa Mangueira e o aquífero presente nesta região da barreira. Pressupõe-se que parte desta água abasteça o aquífero o que justifica o resultado de correlação obtido, onde é encontrado uma forte conexão entre os corpos lagunares e o aquífero costeiro (Fig.6a).

O poço 1, localizado ao sul da Lagoa Mangueira encontra-se inserido em um sistema onde a única fonte plausível seria a interligação deste aquífero com os corpos hídricos superficiais, conforme verificado pela variação de seu nível. Isto sugere que, alguns aquíferos que não estão em contato direto com os corpos lagunares sofram alteração em seu nível através de outras forçantes presentes neste sistema.

Para verificar o grau de interação do 2 com outros aquíferos, realizou-se uma análise de dados entre poços permanentes 2 e 3, no período de setembro/2011 a julho/2013, o valor da correlação é ($r = 0,51$). O resultado apresentado mostra que existe uma interação entre estes poços, isto justifica a questão de que eles podem pertencer a aquíferos que esteja conectados. Porém, em determinados períodos estes níveis apresentam comportamento diferentes, como nos meses de janeiro a maio de 2012 (Fig. 6b). É provável que o poço 3 esteja sofrendo a interferência de outras forçantes, como a oscilação de maré devido à proximidade com o oceano.

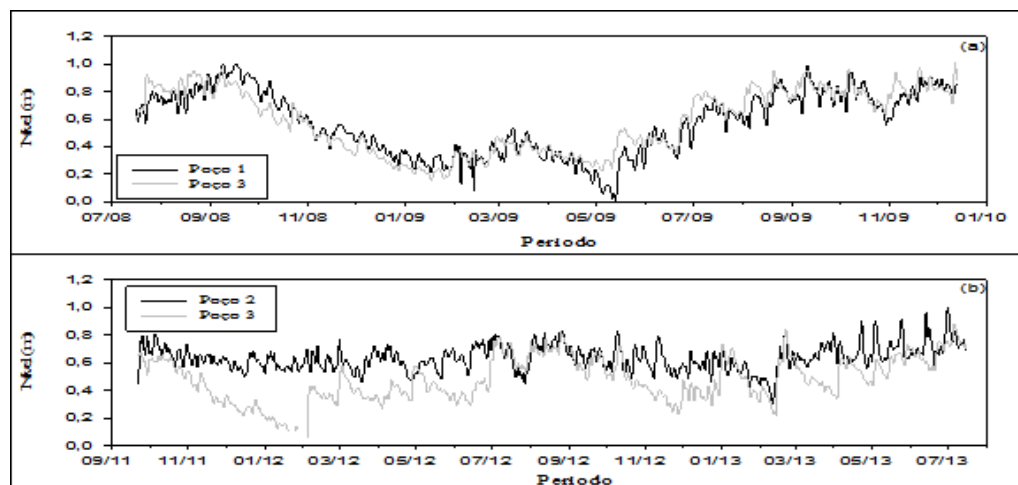


Figura 6: Relação das variações de níveis de água entre o Poço 1 e Poço 3(a) e Poço 2 e Poço 3(b).

É importante salientar que tanto o poço 1, como o poço 2 estão distantes a 100 km do poço 3 e que todas as análises realizadas ocorreram entre os anos de 2008 a 2013, porém os períodos correlacionados não foram os mesmos para todas, por isso foram feitas as leituras separadas de cada local.

Sendo assim, a grande interação analisada entre os poços sugere que o sistema é dinâmico quando próximo a grandes corpos lagunares ou em aquíferos livres, provando que estão interligados e que grande parte das barreiras podem ser consideradas como sistemas no transporte e interligação das águas. Estes sistemas possuem aquíferos que podem sofrer mais intensamente o efeito dos corpos lagunares, enfatizando as diferenças quanto as fontes de recarga.

Outro fator a ser considerado seria o fato desta região, formada por sistemas de barreiras através do sedimento depositado ao longos processos regressivos e transgressivos do mar, tenha sofrido retrabalhamento do sedimento (Tomazelli *et al*, 2005), isso pode ter afetado a granulometria do sedimento, o tipo de solo, a condutividade hidráulica fazendo com que a fonte de recarga proporcional ou mesmo a ligação entre os aquífero tenha se modificado em alguns locais da planície costeira.

3.1 FENÔMENOS DE GRANDE ESCALA (EL NIÑO/LA NIÑA)

Os períodos de eventos extremos como El niño e La niña também podem interferir nos níveis deste sistema (Lagoas e aquíferos). A tabela 3 mostra os anos que tiveram influência desses eventos e suas intensidades.

Tabela 3: Anos sob influência dos eventos climáticos (El Niño e La Niña) e suas respectivas intensidades. Fonte: (GGWEATHER, 2015).

El Niño			La Niña		
Fraco	Moderado	Forte	Fraco	Moderado	Forte
1977-78	1994-95	1997-98	2000-01	1970-71	1988-89
2004-05	2002-03		2005-06	1998-99	1999-00
2006-07	2009-10		2008-09	2007-08	2010-2011
			2011-12		

De acordo a tabela acima e os gráficos de precipitação envolvendo os níveis das Lagoas Mangueira e Mirim (Fig.7), nota-se que os anos de 2008, 2011 e 2012 representam anos em que os índices pluviométricos foram menores, mas não menos significativos já que estavam sob influência de *La Niña* fraco e forte. Já os anos de maiores índices de precipitação, está entre 2009 a 2010, em que ocorre o fenômeno *El Niño* moderado.

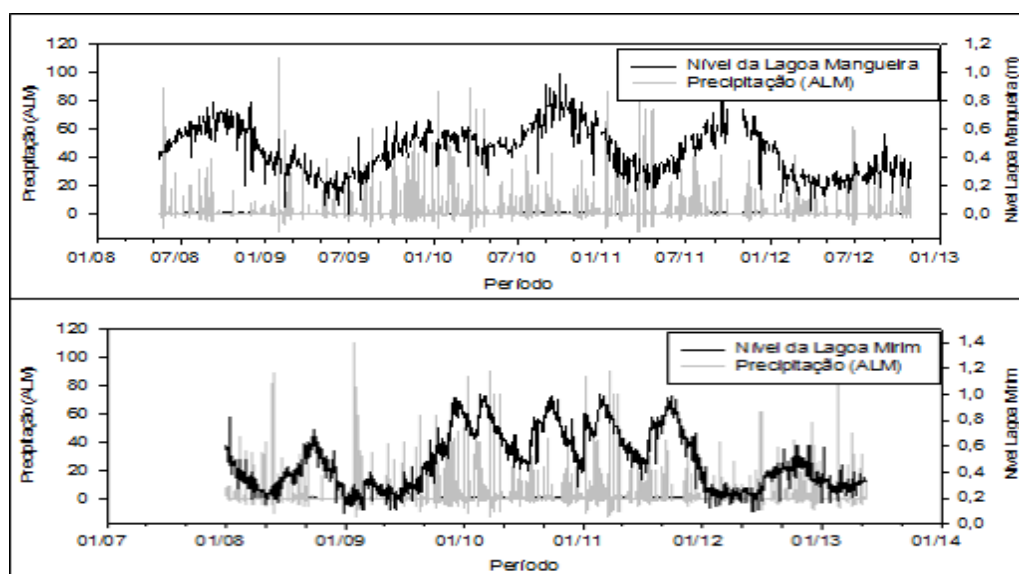


Figura 7: Relação da variação dos níveis das Lagoas Mangueira e Mirim com a precipitação (ALM).

Os fenômenos de grande escala, podem interferir na variação dos níveis tanto das Lagoas como dos aquíferos superficiais, já que nesta região o regime pluviométrico anual tende a oscilar em períodos de El Niño e La Niña. Isto implica em mudanças na disponibilidade de água para as atividades desenvolvidas na região.

4 CONCLUSÃO

As Lagoas e os aquíferos tendem a responder de forma similar ao mesmo processo de recarga (precipitação) e possuem, em termos de níveis, uma correlação que varia de acordo com a localização. Os resultados positivos, indicam que esses sistemas estão interligados, portanto podemos destacar o aquífero presente no poço 1 e 3, mesmo estando muito distantes apresentaram uma interação demonstrada através do resultado da correlação ($r = 0,92$).

Apesar deste comportamento, essa região de estudo indica a existência de aquíferos que respondem de forma diferente, ou que não respondem ao mesmo processo de recarga. Portanto os resultados negativos obtidos na correlação entre o poço 2 com as Lagoas Mangueira e Mirim ($r = -0,053$ e $r = -0,47$), pode indicar que estes aquíferos estejam sofrendo pouca interferência das águas das Lagoas, isso mostra que nesse mesmo sistema pode existir mais de um fonte influenciando o nível de água de alguns aquíferos.

Portanto, tendo a precipitação e ação dos ventos como influência nos processos hidrodinâmicos e de variação de nível para estes corpos Lagunares, a Lagoa Mangueira com uma dimensão e volume menores apresenta comportamento semelhante ao da Lagoa Mirim, a qual é caracterizada por apresentar uma área de drenagem maior e ter como principais fatores hidrodinâmicos, uma descarga fluvial de seus afluentes e ação dos ventos. Este comportamento apresentado pelas lagoas, reflete nos níveis dos aquíferos da região devido ao compartilhamento de água destas lagoas com os aquíferos através dos sedimentos permeáveis.

Já os fenômenos de grande escala (El niño/La niña), que dependem de cada região, mostrou influência da variação dos níveis das Lagoas e consequentemente nas águas subterrâneas, dentro dos períodos em estudo.

5 REFERÊNCIAS

- Andrade, F.F.A., Milani, I.C.B., Attisano, K.K., Niencheski, F.F.H.; Santos, I.R., Burnet, W., Milani, M.R., Contreira, L. (2008). **Fluxos subterrâneo para a Lagoa Mangueira (RS)**.
- Andrade, F.F.A.(2010). **Conexões e interações entre a água superficial e a subterrânea na região costeira do extremo sul do Brasil**. Dissertação (Doutorado em Oceanografia Física Química e Geológica). Universidade Federal do Rio Grande – RS.
- Andrade, F.F.A., Niencheski, L.F.H., Attisano, K. K., Milani, M. R., Santos, I. R., Milani, I.C.(2011). **Fluxos de nutrientes associados às descargas de água subterrânea para a Lagoa Mangueira**. N°. 00, 1-6, 200
- Attisano, K.K., Niencheski, L.F.H, Milani, I.C.B., Machado, C.S., Milani, M.R., Zarzur, S., Andrade, C.F.F. (2008). **Evidences of continental groundwater inputs to the shelf zone in Albardão, RS, Brazil**. Universidade Federal de Rio Grande. Vol. 56 n°3
- Attisano, K. K., Santos, I. R., Andrade, F. F. A., Paiva, M. L., Milani, I. C. B., Niencheski, L. F. H.(2013). **Submarine groundwater discharge revealed by radium isotopes (Ra-223 and Rad-224) near a paleochannel on the Southern Brazilian continental shelf**. Brazilian journal of oceanography, 61(3); 195-200.
- Evangelista, I. M. (1989). **Salinización por intrusión marina**. Aspectos teóricos y metodológicos. Aplicación a los acuíferos costeros de la provincia de Castellón. Diputación de Castellón. 211 p. Castellón.
- Filho, J. L. A., Barbosa, M. C., Azevedo, S. G., Carvalho A. M.(2011). **O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável**. Recursos Hídricos. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. Volume 32#02
- GGWEATHER. El Niño and La Niña year sand intensity. Disponível em:<<http://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em 20 de Jul. 2016.
- Hirata, F. E., Möller, O. O., e Mata, M. M. (2010). **Regime shifts, trends and interannual variations of water level in Mirim Lagoon, southern Brazil**. Pan-American Journal of Aquatics Sciences, v. 5:254–266.

Oliveira, H. A., Fernandes, E. H. L., Junior, O. O. M., Colares, G. L. (2014). **Processos Hidrológicos e Hidrodinâmico da Lagoa Mirim**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, P 34-45; vol 20 n° 1.

Oliveira, R., Quadros, R., Harter, F., Weymar, G. (2015). **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**.

Oliveira, H. A. D., Helena, E., Fernandes, L., Olinto, O., Jr, M., e Collares, G. L. (2015). **Processos Hidrológicos e Hidrodinâmicos da Lagoa Mirim**. 20:34–45.

Machado, C.S. (2007). **Balanço hídrico superficial da Lagoa dos Patos e sua influência sobre a água subterrânea**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio Grande – RS.

Machado, G. (2007). **Demanda e disponibilidade hídrica no sistema Lagoa Mirim-São Gonçalo – Rio Grande do Sul**. pages 61–82.

Melo, J. C. (1999). **O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil**. Universidade Federal da Paraíba. N° 20, pp. 13-21

Milani, I.C.B., Andrade, C.F.F., Attisano, K.K., Niencheski, L.F.H., I, R., Burnet, W. (2008). **Fluxos subterrâneos de nutrientes e metais traço para a Lagoa Mangueira (RS)**.

Press, F., Siever R., Grotzinger, J., Jordan, T. H. (2006). **Para Entender a Terra**. Tradução Rualdo Menegat, 4 ed. – Porto Alegre: bookman, 656 p.: il.

Santos, I. R., Niencheski, F. H., Burnett, W., Peterson, R., Chanton, J., Andrade, C. F. F., Milani, I. B., Schmidt, A., Knoeller, K. (2208). **Tracing anthropogenically driven groundwater discharge in to a coastal lagoon from southern Brazil**. J. Hydrol. 353, 275–293.

Schmidt, A., Santos, I. R., Burnet, W., C., Niencheski, L.F.H., Knoller, K. (2011) **Groundwater sources in a permeable coastal barrier: Evidence from stable isotopes**. Journal of Hydrology 406 (2011) 66–72

Souza, G. K; (2015). **Hidroquímica dos aquíferos costeiros e seu potencial de contribuição no aporte de nutrientes via descarga de água subterrânea SGD (RS – Brasil)**. Dissertação

(Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica). Universidade Federal de Rio Grande – FURG.

Tomazelli, L. J., Villwock, J.A. (2000). **O cenozóico costeiro do Rio Grande do Sul**. Geologia do Rio Grande do Sul. P. 375-406

Tomazelli, L. J., Villwock, J.A. (2005). **Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul**. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO). N° 3 p.109-115

Vaz, A. C., O. O. Möller Jr and T. L. Almeida (2006). "**Análise Quantitativa da Descarga dos Rios Afluentes da Lagoa dos Patos.**" *Atlântica* **28**(1): 10.

Vieira, E. F., Rangel, S. R.S. (1988). **Planície costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Ed. SAGRA.

Vieira, E.F. (1983). **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra. 184p., 183

Villwock, J. A., Tomazelli, L.J. (1995). **Planície costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem natural**. Capítulo 2

Von-Ahn, C. M. E (2015). **A Lagoa dos Patos como recarga dos aquíferos adjacentes**. Dissertação (Mestrado em engenharia oceânica). Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

Winter, T. C.; Harvey, J. W.; Franke, O. L.; Alley, W. M. (1998). Ground water and surfasse water: a single resource. U. S. Geological Survey Circular 1139. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/#pdf>>. Acesso em: 31 julho. 2016.

CAPITULO II: USO DO ISOTPO ESTÁVEL ($\delta^{18}\text{O}$) NA AVALIAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA E TEMPO DE RESIDÊNCIA DA LAGOA MANGUEIRA

RESUMO

O uso dos isótopos estáveis da água, δD e $\delta^{18}\text{O}$, vem sendo amplamente utilizado a fim de caracterizar a assinatura isotópica da água presente em diferentes reservatórios, dentre eles aquíferos, corpos hídricos superficiais e a água da chuva. A partir do uso deste isótopo ($\delta^{18}\text{O}$) é possível estimar a fonte preferencial de recarga destes reservatórios, idade das águas e o tempo de residência. O objetivo deste estudo foi avaliar a variação isotópica das águas superficiais das Lagoas Mirim e Mangureira, através de uma série temporal, e aplicar esta variação isotópica para estimar o tempo de residência da Lagoa Mangureira, e assim obter o volume hídrico deste corpo lagunar. O período de coleta das Lagoas foi de 2008 a 2010, já a precipitação foi recolhida nos municípios de Mostarda, Torres e Rio Grande durante o ano de 2009. Através da correlação obtida entre $\delta^{18}\text{O}$ e as Lagoas, nota-se que não houve interação entre os níveis desses corpos lagunares com os isótopo ($\delta^{18}\text{O}$). Para estimar o tempo de residência (TR) foram utilizados os dados referentes a variação isotópica da Lagoa Mangureira e os dados de precipitação anual. Utilizou-se somente os dados da Mangureira, já que a Mirim é uma Lagoa que recebe vários tributários que podem contribuir com uma assinatura isotópica diferente. Através do volume de precipitação anual e a área da Lagoa, foi possível determinar a quantidade de água existente para cada período estudado. Para os anos de 2008, 2009, 2010, 2011 e 2012 foram encontrados os volumes em m^3 de 448×10^6 , 680×10^6 , 772×10^6 , 597×10^6 , 500×10^6 respectivamente. Estes dados corroboram com os valores encontrados por métodos convencionais que fazem o uso da batimetria, área e altura da coluna de água em corpos lagunares. Além disto, o uso do TR estimado para a Lagoa Mangureira, possibilita a previsão de volume de água para a lagoa conforme a taxa de precipitação prevista para o ano, assim é uma ferramenta suporte para o gerenciamento adequado do uso destas águas.

ABSTRACT

The use of stable isotopes of water, δD and $\delta^{18}O$, has been widely used in order to characterize the isotopic signature of water present in different reservoirs, among them aquifers, surface water bodies and rainwater. From the use of this isotope ($\delta^{18}O$) it is possible to estimate the preferential source of recharge of these reservoirs, age of the waters and the residence time. The objective of this study was to evaluate the isotopic variation of the surface waters of the Mirim and Mangueira Lagoons, through a time series, and to apply this isotope variation to estimate the residence time of the Mangueira Lagoon, in order to obtain the water volume of this lagoon body. The collection period of the lagoons was from 2008 to 2010, since the precipitation was collected in the municipalities of Mostarda, Torres and Rio Grande during the year 2009. Through the correlation obtained between $\delta^{18}O$ and the Lagoas, it is noticed that there was no interaction between The levels of these lagoon bodies with the isotope ($\delta^{18}O$). To estimate the residence time (TR), the data referring to the isotopic variation of the Mangueira Lagoon and the annual precipitation data were used. Only Mangueira data were used, since the Mirim is a lagoon that receives several tributaries that can contribute with a different isotopic signature. Through the annual precipitation volume and the Lagoa area, it was possible to determine the amount of water available for each period studied. For the years 2008, 2009, 2010, 2011 and 2012 the volumes in m^3 of 448×10^6 , 680×10^6 , 772×10^6 , 597×10^6 , 500×10^6 were found respectively. These data corroborate with the values found by conventional methods that make use of the bathymetry, area and height of the water column in lagoon bodies. In addition, the use of the estimated TR for Mangueira Lagoon allows the prediction of water volume for the lagoon according to the expected precipitation rate for the year, so it is a support tool for the proper management of the use of these waters.

1 INTRODUÇÃO

A planície costeira do Rio Grande do Sul é composta por muitos corpos lagunares. Os principais são a Lagoas dos Patos, Mirim e Mangureira, sendo estas interligadas formando o complexo Patos-Mirim-Mangureira. Dentre estas Lagoas a única que não apresenta tributários é a Mangureira, onde suas águas atuam primeiramente no abastecimento do banhado do Taim, o qual escoam até a Lagoa Mirim. Este complexo de lagoas foi formado a partir da justaposição lateral de quatro barreiras deposicionais a partir do pleistoceno (Tomazelli *et al.* 2005). Este sistema sedimentar incorpora ainda aquíferos superficiais que muitas vezes afloram nas regiões de costa formando diversos sangradouros, dos quais alguns são permanentes e outros se formam em períodos de maior precipitação.

É neste ambiente, cercado por grandes corpos lagunares e uma abundância relativa de água que se desenvolvem atividades agrícolas ligadas ao uso mais intenso de água, fertilizantes, pesticidas e esgoto. Esses processos são considerados fontes de contaminação para o sistema Patos-Mirim-Mangureira e pode alterar a qualidade da água.

Essa região costeira do Rio Grande do Sul, apresenta uma extensa área de corpos lagunares e as variações de temperaturas ocorrentes podem alterar a razão isotópica da água tanto superficial como subterrânea.

Na margem oeste da Lagoa Mangureira encontra-se grandes plantações de arroz, considerando que no período de verão ocorrem as maiores taxas de evapotranspiração e irrigação das lavouras, fazendo com que o nível d'água diminua em grandes proporções (Santos *et al.*, 2008).

O uso de traçadores isotópicos como o $\delta^{18}\text{O}$ vem sendo empregado como traçadores naturais nos estudos de sistemas hidrológicos (Bedmar *et al.*, 1980) e podem facilitar o gerenciamento destes recursos. Através de sua quantificação é possível estimar o tempo de residência das águas nestas lagoas e a partir deste encontrar o volume de água com base nos dados de precipitação, o que pode auxiliar no controle sobre o uso destes recursos naturais.

Os isótopos estáveis de δD e $\delta^{18}\text{O}$ fazem parte da molécula de água e são encontrados em quantidades variáveis, de acordo com suas origens. Estes isótopos ambientais se dividem

em naturais e artificiais (radioativos obtidos em laboratórios) e podem descrever processos complexos de forma simples, tais como: precipitação, evaporação, escoamento, infiltração e transpiração (Leibundgue *et al* 2011).

Schmidt *et al.*(2011) utilizaram isótopos estáveis na água como uma ferramenta para definir fontes de água subterrânea dentro de uma barreira permeável que separa a lagoa do mar. Já Andrade (2010), mostra a utilização do δD e $\delta^{18}O$ na determinação da tipologia e hidrologia das águas superficiais e subterrâneas de toda a planície costeira do Rio Grande do Sul.

Desta forma, destaca-se a necessidade de lançar mão de ferramentas analíticas capaz de dar suporte à uma quantificação mais abrangente, ou seja, não pontual mais totalitária, do balanço hidrológico. Dentre estas ferramentas, os isótopos estáveis como δD e $\delta^{18}O$ são excelentes, pois sua variação em determinados compartimentos está ligada a processos termodinâmicos que resulta no enriquecimento ou depleção em algum destes isótopos e assim fornecem a assinatura isotópica da água.

Portanto, a utilização de isótopo estável $\delta^{18}O$ como traçador a partir do caminho pelo qual percorre as águas desde sua precipitação, escoamento e evaporação podem auxiliar na determinação do volume hídrico de corpos lagunares e dos processos que ocorrem entre estes sistemas. Este traçador ainda pode auxiliar na distinção da fonte de recarga dos aquíferos em função da localização e profundidade. Separar as fontes de misturas de água sem dados isotópicos é praticamente impossível, e a utilização de traços dos isótopos para apresentar estes processos é uma importante contribuição em relação aos métodos hidrométricos convencionais

1.2 ISOTÓPOS AMBIENTAIS ESTÁVEIS

No Brasil, os primeiros estudos realizados com isótopos estáveis em uso hidrológico ocorreu no final da década de 60 e início da década de 70, e suas região de estudos foram o Nordeste brasileiro, a Amazônia e em seguida o Sudeste.

Os isótopos estáveis são encontrados de forma generalizada no meio ambiente em quantidades que permitem seu uso como traçadores ou marcadores cronológico, sendo considerada uma ferramenta tradicional no meio técnico hidrológico (Fritz *et al*, 1980). No

contexto hidrológico e hidrogeológico são utilizados como traçadores de águas superficiais e subterrâneas, também na determinação do tempo de recarga e idade do aquífero. As composições isotópicas de oxigênio e hidrogênio em aquíferos rasos, são considerados como parâmetros conservadores e geralmente só podem ser alterados por misturas com massas de água isotopicamente diferentes (Clark *et al*, 1997).

Conhecidos como isótopos ambientais, estes ocorrem de maneira natural e acompanham os ciclos naturais do meio ambiente. O 3H , 2H e $\delta^{18}\text{O}$ constituem as próprias moléculas de água e representam os melhores traçadores. Estes isótopos são caracterizados pelo mesmo número atômico e diferentes números de massas. A diferença presente no número de massa é provocada pela variação do número de nêutrons do elemento em relação a um determinado isótopo, modificando o local e a quantidade relativa entre os vários isótopos existentes na natureza, em um processo denominado fracionamento isotópico. Quanto maior a diferença de massa entre eles, maior será o seu fracionamento. Este fracionamento pode ocorrer através da mudança de fase ou estado, diferença na taxa de reação química e diferença na velocidade de difusão molecular (Clark *et al*, 1997).

1.3 OBJETIVOS

Objetivo geral:

- Avaliar e aplicar uma série temporal de $\delta^{18}\text{O}$ na coluna de água para estimar o volume hídrico da Lagoa Mangureira.

Objetivos específicos:

- Avaliar a variação isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ das águas das Lagoas Mirim e Mangureira, através de uma série temporal. Estimar o tempo de residência da Lagoa Mangureira através do isótopo $\delta^{18}\text{O}$ estável.
- Verificar a variação anual do volume de água da Lagoa Mangureira através das taxas de precipitação

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado no aquífero superficial de sedimento costeiro da planície flúvio-marinha nos sistemas deposicionais pleitocênicos e holocênicos, a Lagoa Mangueira. O clima na região costeira, entre as latitudes de 29° e 34° S, está sob o controle do centro de alta pressão do anticiclone do Atlântico Sul (Klein 1998). O anticiclone do Atlântico Sul resulta na dominância de ventos NE (velocidade média de 5 m s⁻¹) ao longo do ano, seguida por ventos SW (velocidade média de 8 m s⁻¹) durante a passagem de frentes frias, as quais são mais comuns no inverno pelo deslocamento do centro de alta pressão. A precipitação pluviométrica anual varia marcadamente e está relacionada com a passagem de frentes frias, sendo normalmente maior durante o inverno e a primavera. As variações pluviométricas, com períodos de chuvas intensas e ou secas prolongadas, parecem ser consequência do El-Niño ou La-Niña sendo estes eventos diretamente de grande influência nas descargas de água doce continental (Klein, 1998)

2.2 METODOLOGIA DE COLETA E PROCESSAMENTO

2.2.1 Procedimento amostral

As amostras de água foram coletadas nas Lagoas Mangueira e Mirim entre o período de 2008 a 2010. As águas da chuva foram coletadas nos municípios de Mostarda, Torres e Rio Grande (praia do Cassino), durante o ano de 2009.

Todas as amostras foram coletadas em frascos de 5ml, sendo previamente filtradas e acondicionadas em frascos de 2 mL hermeticamente fechado a fim de evitar qualquer exposição ao ambiente, sendo mantidas sob refrigeração (4°C) até o momento de envio para a análise no Skidaway Institute (Florida, USA).

A técnica utilizada na análise dos isótopos não se popularizou no Brasil, sendo assim os custos das análises isotópicas tornou-se muito elevado, outra questão é a pouca quantidade de laboratórios devidamente equipados para a realização dos procedimentos (Silveira *et al.*, 2002).

Porém, técnicas modernas estão surgindo no país, como a avaliação a laser, o que diminui os custos dessas análises.

2.2.2 Método em laboratório

Para a determinação da razão isotópica das água coletadas nas Lagoas e da precipitação, essas amostras foram submetidas à análise utilizando pirólise de alta temperatura (IRMS). Este método possui uma precisão $\pm 0,1\%$ para o $\delta^{18}\text{O}$. Estas análises foram executadas no Skidaway Institute of Oceanography, pelo Prof. Dr. Jay Brandes. Para as determinações da razão isotópica da água utilizou-se o padrão internacional de VSMOW2 (Viena Standard Mean OceanWater), que é um padrão criado nos laboratórios da Secção de Hidrologia Isotópica da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) em Viena, que pretende representar o valor médio da composição isotópica dos oceanos, o início e o fim do Ciclo Hidrológico. Para a calibração, medidos simultaneamente com a amostra no mesmo aparelho e expressos da seguinte forma para o $\delta^{18}\text{O}$:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{amostra}} = \frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{amostra}} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{padrão}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{padrão}}}$$

onde, $\delta^{18}\text{O}_{\text{amostra}}$ é a concentração isotópica em partes por mil de ^{18}O na amostra

$\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{amostra}}$ é a razão relativa entre ^{18}O e ^{16}O na amostra

$\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{padrão}}$ é a razão relativa entre ^{18}O e ^{16}O no padrão

2.2.3 Tempo de residência

Para avaliar o volume de água da Lagoa, estimamos tempo de residência (TR). Os cálculos do tempo de residência, por considerar que a variação isotópica da precipitação

apresenta uma função senoidal (Burns et al., 1998; Zhang *et al.*, 2009). Esta função pode ser aplicada a partir do modelo matemático descrito abaixo:

$$T = \omega^{-1}(f^{-2} - 1)^{1/2} \quad (1)$$

Onde ω é igual a 2π por ano, e f é igual a amplitude de amortecimento fornecida pela razão A_{out}/A_{in} . A é a diferença entre o valor máximo absoluto e a média da concentração do isótopo. Os sufixos “in” e “out” são a recarga e a descarga, respectivamente, que correspondem à precipitação e à água tanto superficial como subterrânea. A amplitude de amortecimento f pode ser igual a 1 se não ocorrer variação de mistura na água.

Para estimar o tempo de residência das águas superficiais da Lagoa Mangueira foi utilizada a amplitude da variação isotópica da água da chuva e dos compartimentos avaliados quanto ao conteúdo de $\delta^{18}\text{O}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RELACIONANDO O ISÓTOPO $\delta^{18}\text{O}$ COM A VARIAÇÃO DO NÍVEL DAS LAGOAS MANGUEIRA E MIRIM

Correlacionado os dados de níveis das Lagoas Mangueira e Mirim, os resultados obtidos foram de ($r = -0,29$ e $r = -0,43$). O isótopo $\delta^{18}\text{O}$ não sofre nenhum tipo de interação com os níveis das Lagoas, provavelmente a contribuição de tributários com diferentes assinaturas isotópicas e área de drenagem diferentes, podem interferir na assinatura de água das Lagoas.

Sendo assim, através dos dados obtidos é possível analisar a relação entre o isótopo $\delta^{18}\text{O}$ com o nível de águas das Lagoas Mangueira e Mirim no período de 2008 a 2010 (Fig. 8).

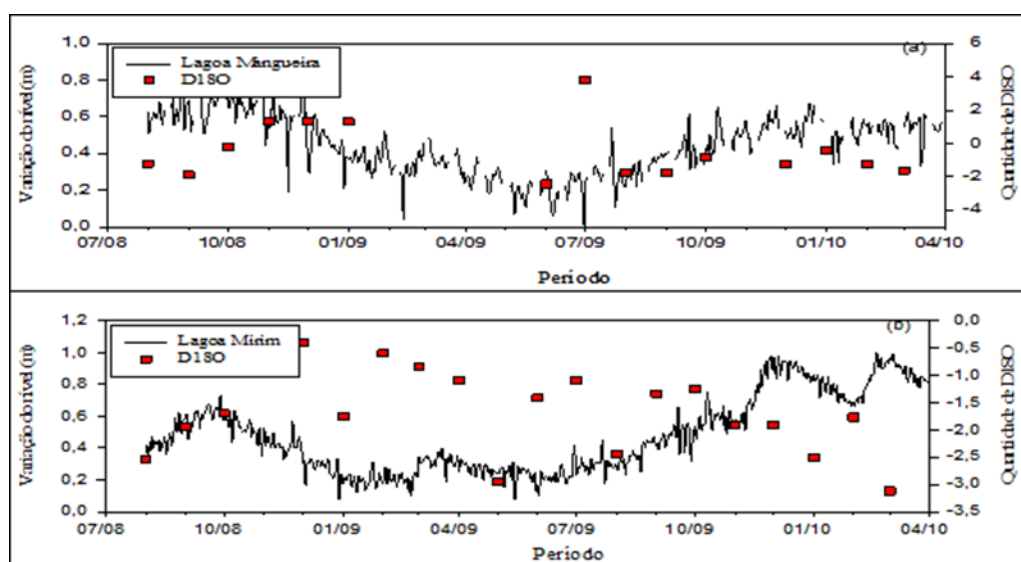


Figura 8: Distribuição do isótopo estável $\delta^{18}\text{O}$ e níveis das lagoas ao longo do tempo

A figura 8(a), mostra a variação dos dados de $\delta^{18}\text{O}$ em relação a variação de nível da Lagoa Mangueira, já figura 8(b) é apresentada a variação isotópica em relação ao nível da Lagoa Mirim. Como a precipitação na região, fonte de $\delta^{18}\text{O}$ para estas lagoas, está ligada às variações climáticas sazonais, a oscilação da temperatura promove alterações na razão isotópica (Fig. 8a), onde as estações mais frias apresentam uma baixa razão isotópica e estações mais quentes uma razão mais elevada (Clark *et al.*, 1997). Como consequência, sistemas lagunares como as lagoas Mangueira e Mirim apresentaram esta distinção através dos dados de variação da razão isotópica em função do tempo, demonstrando assim a amplitude sazonal frente às condições

climáticas, apresentadas também pela oscilação de seus níveis. Além das condições climáticas, que orientam a assinatura isotópica da precipitação, outros processos que sejam fonte de água para as lagoas também podem influenciar sua tipologia. Um exemplo é o caso de tributários (rios) que percorrem grandes distâncias, ao longo de seu trajeto, este pode sofrer fracionamento isotópico até seu deságue em lagoas ou estuários e assim influenciar a assinatura isotópica destes ambientes (Clark *et al.*, 1997).

3.2 CÁLCULO DO VOLUME ESTIMADO PARA A LAGOA MANGUEIRA UTILIZANDO O ISOTÓPO ESTÁVEL $\delta^{18}\text{O}$

A tabela 4 apresenta as regiões onde os dados de precipitação foram coletados, sendo elas: Mostardas, Torres e Rio Grande. Estudo realizado por Schmidt *et al.*, (2011), mostraram que cidades localizadas na costa do RS apresentam uma média isotópica parecida, sendo possível utilizar seus valores de $\delta^{18}\text{O}$ para estimar o TR da Lagoa Mangueira.

Tabela 4: Dados de chuva ao longo da costa do Rio Grande do Sul

Local	Período	$\delta^{18}\text{O}$
Chuva Mostardas	02/2009	-1,27
	02/2009	-1,46
Chuva RG	10/2009	-2,59
	11/2009	-10,91
	01/2010	-7,98
	03/2010	-2,84
	03/2010	-3,01
	04/2010	-4,40
	05/2010	-5,27
	05/2010	-5,21
	06/2010	-4,41
	07/2010	-3,44
Torres	11/2010	-0,59
	11/2010	-0,46
Média		-3,84
Máximo		-0,46
Mínimo		-10,91
Amplitude média		5,22

A fim de investigar esses processos hidrológicos através da precipitação no suprimento de água para os corpos de água superficiais, utilizamos a Lagoa Mangueira, um ambiente livre de tributários onde os dados foram coletados através de uma série temporal de 2 ano de $\delta^{18}\text{O}$. Esta série de dados forneceu o TR, ou seja, o tempo médio necessário para a água passar pelo sistema. Aplicando a equação 1 (Burns *et al.*, 1998; Zhang *et al.*, 2009), e considerando a amplitude de variação da composição isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ na água da chuva como 6,2 e da Lagoa como 1,25 para o período de agosto de 2009 a agosto de 2010, calculou-se o tempo de residência desta água na Lagoa proporcional a 8 meses.

Portanto, a quantidade de água que transita pela Lagoa a partir da precipitação pode ser encontrada multiplicando o TR pela precipitação anual ($V_t = \text{TR} \times \text{precipitação/ano}$; precipitação anual de 1250 mm, ou seja, para a Lagoa transita um volume de 833 mm. Como 1 mm de chuva está contido em uma área de 1 m^2 , o volume contido nesta área é proporcional a 1 L, assim a conversão destes dados fornece um valor de 833 L m^{-2} . Para descobrir o volume total de água que a Lagoa comporta durante o TR, multiplicou-se 0,833 $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$ pela área total da lagoa (800 Km^2), sendo encontrado um volume total de 666,4 x 10⁶ m^3 para a Lagoa Mangueira.

Usando medidas de altura de coluna d'água e de área, Villanueva (1997) estimou o volume total da Lagoa Mangueira em aproximadamente 700 x 10⁶ m^3 , indicando que volume de trânsito da água pela lagoa corresponde ao esperado para a capacidade volumétrica da Lagoa. Já Vassão (1952), utilizou cálculos da área superficial da Lagoa Mangueira e sua profundidade para demonstrar o volume de água que continha nela, sendo um total de 1 440 x 10⁶ m^3 , um valor considerado discrepante quando comparado com os encontrados atualmente. Esse fato pode ser justificado pela variação de nível anual que Lagoa pode sofrer e por eventos extremos que podem influenciar na determinação desse cálculo.

Quando os dados de níveis e área da lagoa são utilizados para o cálculo do seu volume é possível ocorrer variações nos valores encontrados devido as oscilações sazonais de seus níveis. Ainda devemos considerar as alterações sofridas neste ambiente desde a construção da rodovia que passa pelo banhado do taim e a expansão da atividade orizicola da região. Estas alterações podem ter também influenciado nos volumes de água e assim na diferença de valores entre os dados gerados por Vassão (1952) e Villanueva (1997).

O cálculo do TR considera o uso da assinatura isotópica da chuva e da lagoa para o mesmo período, o que depende exclusivamente dos processos de mudança de estado físico da água, em outras palavras, qualquer mudança na assinatura isotópica da chuva se reflete na água da Lagoa. Assim o TR está ligado as taxas de evaporação e precipitação e independente do volume de chuva, já que o fracionamento isotópico (processo físico que ocorre durante a mudança de estado da água) ocorre tanto durante a precipitação quanto durante a evaporação.

Como os dados de precipitação engloba a região de estudo, utilizou-se uma média anual do volume de chuva das regiões de Santa Vitória do Palmar (ALM) e da ANA, estes dois postos encontram-se próximos as Lagoas Mangueira e Mirim. Sendo assim, foi estimado o volume de água que comportava a Lagoa Mangueira no período de 2008 a 2012. Esses resultados estão apresentados na tabela 5, onde é observado que a quantidade de água que a Lagoa Mangueira recebia variava de acordo com o volume da chuva.

Tabela 5: Precipitação (mm) anual de Santa Vitória do Palmar e Ana, juntamente com o volume da Lagoa para cada ano específico.

Ano	Precipitação (mm) Santa Vitória do Palmar (ALM)	Precipitação (mm) ANA (Agência Nacional de Águas)	Volume da Mangueira (m³)
2008	840	841	448x10 ⁶
2009	1274	1200	680x10 ⁶
2010	1448	1012	772x10 ⁶
2011	1120	1098	597x10 ⁶
2012	937	911	500x10 ⁶

3.3 VALOR ESTIMADO PARA O APORTE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DA LAGOA MANGUEIRA

A interação existente entre o volume de água da Lagoa Mangueira representados através dos isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$) obtido por métodos convencionais, permite dar sequência a estimativa do aporte subterrâneo para a Lagoa.

A figura 9 apresenta a distribuição de chuva durante o período de 2008 a 2010, registrado na região de Santa Vitória do Palmar. Os dois postos de coleta (ALM e ANA), apresentam a mesma tendência, portando utilizou-se os dados de Santa Vitória do Palmar (ALM) por apresentar uma melhor variabilidade no regime de chuvas.

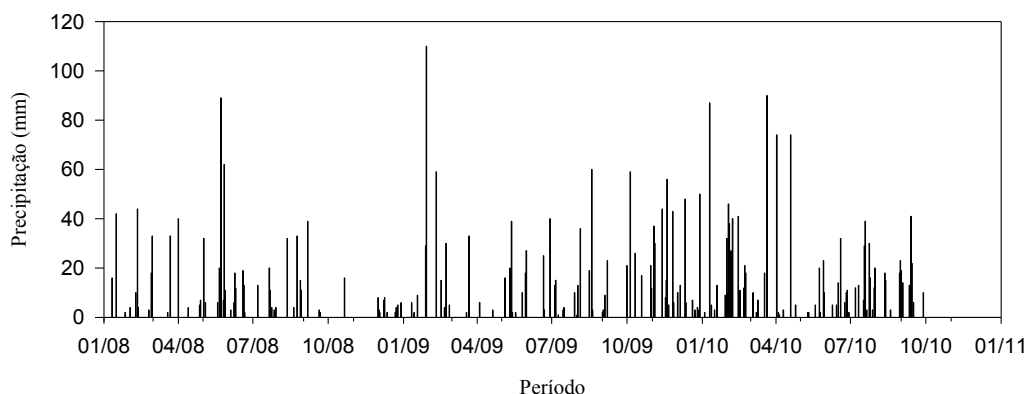


Figura 9: Volume de precipitação na região de Santa Vitória do Palmar no período de 2008 a 2010

Cabe salientar que nesta Lagoa, mesmos nos períodos de mais intensa estiagem, que podem durar de 6 a 8 meses (como na primavera de 2008 e no verão de 2009), a Lagoa permaneceu com aproximadamente 40% de seu nível a partir do nível máximo medido (1,5 m – inverno de 2008), quando deveria ter no máximo 25%, a partir da estimativa do TR. Como avaliado em alguns estudos, esta Lagoa sofre influência da advecção de água subterrânea em aproximadamente 2% do volume de água (Santos, Niencheski *et al.*, 2008). Entretanto, estes dados sugerem que a água subterrânea pode suprir um percentual maior do que o reportado anteriormente, estando esta Lagoa em períodos de estiagem e com o abaixamento do nível, sendo suprida com aproximadamente 15 % de água subterrânea.

Para o ano de 2008 foi encontrado um volume de $448 \times 10^6 \text{ m}^3$. Considerando que precisa de um suprimento de 840 mm anual e que 15% pode ser oriundo da água subterrânea podendo inferir no valor de contribuição desta fonte.

Com base no TR e no percentual de água subterrânea que supre a Lagoa, o volume de água ao longo do ano é de $67 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$, ou seja, $67 \text{ L m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, sendo que essa região dos canais suprem aproximadamente $14 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ (Santos, Niencheski *et al.*, 2008).

Sem dúvida, nestes ambientes onde a região de fronteira entre aquíferos e lagoas é diminuta, dada a estreita relação entre estes compartimento, a água subterrânea exerce um importante papel para a manutenção dos níveis de água nos ambiente lagunares, fato este desconsiderado em muitos estudos hidrológicos mas que assume a sua importância tanto pela contribuição de água quanto para os processos geoquímicos e no transporte de substâncias.

Andrade (2011) demonstrou que a água advectada é fonte de nutrientes para a Lagoa e, a partir do volume estimado através da assinatura isotópica, os fluxos de nutrientes podem aumentar em aproximadamente 7 vezes.

4 CONCLUSÃO

O uso do isótopo estável $\delta^{18}\text{O}$ pode ser utilizado como ferramenta na determinação do volume hídrico em grandes corpos lagunares como no caso da Lagoa Mangueira que se apresenta livre da influência de tributários e com uma boa taxa de mistura devido a ação do vento e sua pequena profundidade, o que torna suas águas homogêneas. Nesse corpo hídrico através do tempo de residência calculado a partir do isótopo $\delta^{18}\text{O}$ foi estimado um volume de $666,4 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Para uma comparação do potencial hídrico através do uso desta ferramenta, verificou-se a variação do volume em função da precipitação para os anos de 2008, 2009, 2010, 2011 e 2012, sendo estas de 448×10^6 , 680×10^6 , 772×10^6 , 597×10^6 , 500×10^6 respectivamente. Assim, esta ferramenta se mostra importante quando aplicada para a previsão da capacidade volumétrica desta lagoa, visto seus diversos usos, principalmente a utilização de suas águas para a irrigação de lavouras.

A partir desta avaliação foi possível inferir que qualquer alteração no regime de chuvas somado ao uso descontrolado das águas superficiais para a atividade de irrigação pode causar mudanças significativas no balanço hidrológico, o que provavelmente poderá ser monitorado através da variação sazonal da precipitação e do cálculo para o volume da Lagoa. Além disto parte das águas da Lagoa, em momentos de déficit hídrico, podem ser supridas pelas águas subterrâneas. Daí a importância desse gerenciamento das bacias hidrográficas da região também contemplarem os aquíferos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo 1 mostrou a interação existente entre as Lagoas Mangueira e Mirim, com os aquíferos superficiais, representados através dos poços permanentes 1, 2 e 3. As correlações apresentadas através dos resultados positivos sugerem que esses corpos lagunares interagem entre si através dos balanços de níveis e precipitação. Já as correlações negativas entre o poço 2 com as Lagoas Mangueira e Mirim, indicam a presença de aquíferos que não se encontram em equilíbrio com o nível das Lagoas. Portanto, essa região de estudo, pode apresentar diferentes aquíferos e que estes não tenham ligação com as Lagoas, apesar de estarem bem próximos um do outro (Poço 1 e Poço 2).

Devido a utilização dessas águas a várias atividades, incluindo pesca, recreação, irrigação e consumo humano, é preciso que se tenha uma maior atenção quanto ao seu consumo, uma vez que o mau uso desse recurso pode acarretar grandes prejuízos tanto para o meio ambiente quanto para a cadeia produtiva.

Já o capítulo 2 apresentou a importância do isótopo estável $\delta^{18}\text{O}$ para estimar o volume de água presente na Lagoa Mangueira e o tempo de residência. Através desta ferramenta é possível demonstrar uma previsão da capacidade volumétrica desta lagoa conforme a previsão de chuvas para um determinado período. Esta ferramenta pode auxiliar no gerenciamento adequado do uso destas águas para as atividades recreativas e econômicas desenvolvidas nesta região.

De acordo os resultados deste estudo, essa região apresenta aquíferos superficiais que não estão ligados as Lagoas Mangueira e Mirim. Por isso, sugere-se um estudo voltado a essa região costeira para observar a relação que envolvem os aquíferos e as Lagoas, em diferentes locais e próximos um do outro.

Quanto a utilização do isótopo $\delta^{18}\text{O}$, seria necessário ampliar os estudos nessa região principalmente nas águas da Lagoa Mirim e dos seus tributários.

6 REFERÊNCIAS

- Andrade, C. F. F. d., Milani, I. C. B., et al. (2008). **Fluxos subterrâneos para a Lagoa Mangueira (RS)**. III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande: 13.
- Andrade, F.F.A., Niencheski, L.F.H., Attisano, K. K., Milani, M. R., Santos, I. R., Milani, I.C. (2011). **Fluxos de nutrientes associados às descargas de água subterrânea para a Lagoa Mangueira**. N°. 00, 1-6, 200
- Bedmar, A.P., Silva, A. B. (1980). **Utilização de isótopos ambientais na pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no "Karst" da região do Jaíba, norte de Minas Gerais**. Anais do 1º congresso brasileiro de águas subterrâneas. Recife (PE).
- Burns, D. A., J. J. McDonnell (1998). "Effects of a beaver pond on runoff processes: comparison of two headwater catchments." *Journal of Hydrology* **205** (3-4): 248- 264
- Clark, I. & Fritz, P. (1997). **Environmental Isotopes in Hydrogeology**. New York, CRC Press. 328p.
- Fritz, P. & Fontes, J. Ch. (eds.) 1980. **Handbook of environmental isotope geochemistry**. Elsevier, Amsterdam. 322 p.
- Gibson, J. J., Birks, S. J., Yi, Y. **Stable isotope mass balance of lakes: a contemporary perspective**. *Quaternary Science Reviews*, v. 131, part B, p. 316-328, 2015.
- Leibundgut, C. & Seibert, J. (2011). Tracer Hydrology. In: WILDERER, P. (Ed.). *Treatise on Water Science. Volume 2: The Science of Hydrology*. Amsterdam: Elsevier Science. p. 215–236.
- Klein, A. H. F. (1998). *Clima Regional. Os Ecossistemas Costeiros e Marinhos do Extremo Sul do Brasil*. U. Seeliger, C. Odebrecht and J. P. Castello. Rio Grande, Ecoscientia: 341
- Santos, I.R., Niencheski, F. H et al. (2008). "Tracing anthropogenically driven groundwater discharge into a coastal lagoon from southern Brazil." *Journal of Hydrology* **353**(3-4): 275-293.

Santos, I.R., Machado, M.I., Niencheski, L.F., Burnett, W., Milani, I.B., Andrade, C.F.F., Peterson, R.N., Chanton, J., Baisch, P.(2008). **Major ion chemistry in a freshwater coastal lagoon from southern Brazil (Mangueira Lagoon): influence of groundwater inputs.** *Aquat. Geochem.* 14, 133–146

Schmidt, A., Santos, I. R., Burnett, W., Niencheski, F., Knoller.(2011) **Groundwater sources in a permeable coastal barrier: Evidence from stable isotopes.** *Journal of Hydrology* 406 (2011) 66–72

Silveira, C. S., Júnior, G. C. d. S. (2002). **"O Uso de isótopos ambientais em estudos hidrogeológico no Brasil: Uma Resenha Crítica."** *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* 25: 18.

Tomazelli, L.J., Villwock, J.A. (2005). **Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul.** 109-115 N°3

Vassão, C. M (1952). **Reconhecimento topo-hidrográfico da Lagoa Mangueira.** Ministério da agricultura. Instituto Agrônômico do Sul

Villanueva, A. O. N. (1997). **Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Tese de Doutorado:** 125.

Zhang, Y., Song. X., et al. (2009). **"Use of oxygen-18 isotope to quantify flows in the upriver and middle reaches of the Heihe River, Northwestern China."** *Environmental Geology* 58(3): 645-653.