

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE**

Programa de Pós-Graduação em Geografia



**Dissertação**

**Diagnóstico hidroquímico das águas  
superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS**

**Artur Lacerda Arndt**

Rio Grande, 2011

**Artur Lacerda Arndt**

**Diagnóstico hidroquímico das águas  
superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS**

Dissertação de conclusão de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Geografia – Análise Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Maristela Bagatin Silva

Rio Grande, 2011

**Banca Examinadora:**

Maristela Bagatin Silva - Orientadora

Edinei Koester - UFRGS

Ulisses Rocha de Oliveira – FURG

Agradecimentos:

À minha orientadora professora Dra. Maristela Bagatin Silva por todo suporte e estrutura conseguidos, bem como pela orientação e pelo aprendizado que esta experiência acadêmica me propiciou. Estes elementos estes foram cruciais para a realização deste trabalho.

Ao prof. Dr. Edinei Koester, por ser uma inspiração pela sua dedicação, ética e seriedade no campo das geociências e por me ajudar na escolha do tema desta pesquisa, no suporte dado a execução deste estudo, fosse com equipamento o empréstimo de equipamentos, bolsistas ou mesmo viaturas para saídas de campo.

À Professora Dra. Isabel Machado, a Elisa Rosa Seus e a Francine Vicentini Viana, que trabalharam com competência e afinco no Laboratório de Oceanografia Geológica da Universidade Federal do Rio Grande para a realização das análises que servem de fundamento para este trabalho.

A Jonathan Duarte Marth e a Érica Insaurriaga Meggiato, que me forneceram a base cartográfica utilizada neste trabalho, as quais incrementaram as discussões, sendo isso de fundamental importância para a qualidade da interpretação dos dados aqui discutidos e a Daniel Andrade Schuch pelos dados meteorológicos, fundamentais para a compreensão de parte dos aspectos que influenciaram nos resultados obtidos nesta pesquisa, bem como por seu companheirismo, tanto como colega cientista, quanto como companheiro de banda.

Aos componentes da banca de avaliação deste trabalho, pois estes se propuseram a discutir, aprimorar e a incrementar as discussões no intuito de melhorar a qualidade do resultado final desta dissertação.

À minha família, à minha namorada Márcia Cristina Duarte Lopes e aos meus amigos por sua paciência, compreensão e apoio, visto que todos são e sempre serão parte de minha vida e que contribuíram para tudo que sirva como aprimoramento, seja como profissional ou como filho, sobrinho, companheiro ou amigo

Enfim, agradeço a todos aqui mencionados e aos que de uma forma ou outra colaboraram e se fizeram presentes, seja com palavras de sabedoria ou ainda com ouvidos pacientes em todos os momentos desta caminhada.

As últimas duas décadas de nosso século vêm registrando um estado de profunda crise mundial. É uma crise complexa, multidimensional, cujas facetas afetam todos os aspectos de nossa vida – a saúde e o modo de vida, a qualidade do meio ambiente e das relações sociais, da economia, tecnologia e política. É uma crise de dimensões intelectuais, morais e espirituais; é uma crise de escala e premência sem precedentes em toda história da humanidade. Pela primeira vez, temos que nos defrontar com a real ameaça de extinção da raça humana e de toda vida no planeta. (Fritjof Capra – Ponto de mutação, 1982)

**Resumo:**

ARNDT, A. L. **Diagnóstico hidroquímico das águas superficiais do Arroio Pelotas, RS.** Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, RS. 2011.

A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, localiza-se na região Sul do Rio Grande do Sul, Brasil entre os municípios de Pelotas, Canguçu, Arroio do Padre e Capão do Leão. Trata-se de um recurso hídrico utilizado pelo ser humano para diversas atividades, como por exemplo, lazer, irrigação para agricultura, bem como para abastecimento doméstico. Os recursos hídricos superficiais desta bacia hidrográfica estão expostos a diversa sejam de natureza geológica, como rochas de diferentes litologias e seus produtos (sedimentos), sejam de fontes antropogênicas, oriundas de atividades agropecuárias e urbanização. Com o intuito de identificar possíveis fontes naturais/ou antropogênicas que possam interferir na potabilidade das águas superficiais do Arroio Pelotas foram analisados os íons maiores fosfato, cloreto, fluoreto, nitrato, nitrito e sulfato, amônio, cálcio, magnésio, potássio e sódio a partir da cromatografia iônica, bem como pH e condutividade elétrica. Estes parâmetros foram analisados em 9 pontos de coleta, distribuídos da nascente à foz do Arroio Pelotas. As coletas foram realizadas no período de outono de 2009 até o verão de 2010, com amostragem 4 amostragens de cada ponto, uma em cada estação, a partir das quais foi possível observar a influência das ações humanas sobre este ambiente, bem como foi possível observar a influência de processos naturais na composição da água superficial deste curso d'água. A partir destes resultados foi possível observar a influência da pluviometria no acréscimo de compostos à base de nitrogênio nas estações chuvosas, bem como a influência de íons de origem marinha, como por exemplo, potássio, magnésio, cálcio, cloreto e sódio nas proximidades da foz do Arroio Pelotas em tempos de estiagem.

**Palavras chave:** Arroio Pelotas, água superficial, íons, qualidade ambiental.

**Abstract:**

ARNDT, A. L. **Diagnosis hydrochemistry of surface waters of the Pelotas Stream, RS.** Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, RS. 2011.

The Arroio Pelotas Watershed is located at the southern region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil, among the towns of Pelotas, Canguçu, Arroio do Padre and Capão do Leão. It's a hydric resource which is used by human being for several activities, such as leisure, irrigation for agriculture, as well as domestic supply. The superficial hydric resources of this watershed are exposed to many different substances, from geological nature as different kinds of lithological rocks and their products (sediments), to anthropogenic sources, arising from agriculture and cattle raising activities and urbanization. With the purpose of identifying possible natural or anthropogenic sources that may interfere in the potability of the superficial waters of Arroio Pelotas, bigger ions were analyzed: phosphate, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, ammonium, calcium, magnesium, potassium and sodium through ion chromatography, pH and electrical conductivity. These were observed in 9 different collecting places distributed from the rising to the outfall of Arroio Pelotas, from which the collecting happened through the fall 2009 until summer 2010, with four collectings in each place, once every season. From this data it was possible to observe the influence of human actions on this environment, as well as the influence of natural processes in the water composition in this watercourse. From the results, we observed the rainfall influence in the adding of nitrogen-based composes in rainy seasons as well as the influence of sea-originated ions in the proximities of the outfall of Arroio Pelotas in dry periods.

Key-words: Arroio Pelotas, superficial water, ions, environmental quality.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Esquematização dos vetores de contaminação d'água por organismos patogênicos.....	16
Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas, nos municípios de Arroio do Padre, Canguçu, Capão do Leão e Pelotas, no Sul do Rio Grande do Sul com a localização dos limites municipais. ....	18
Figura 3 - Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas sobreposta às formações geológicas das províncias Escudo Sul-riograndense e Planície Costeira. ....	20
Figura 4 - Médias pluviométricas diárias e média climática no período referente ao início do Outono de 2009 até o final do Verão de 2010 obtidos a partir do satélite NOAA. ....	23
Figura 5 - Mapa de uso do solo .....	25
Figura 6 - Mapa de conflitos no uso do Solo na BHAP. ....	27
Figura 7 - Localização da área de estudos com os pontos de coletas marcados. ....	33
Figura 8 - Nascente do Arroio Pelotas, no município de Canguçu.....	34
Figura 9 – Túnel de Pedra, no município de Pelotas na colônia Maciel.....	35
Figura 10 - Prainha do Bachini, no município de Pelotas na colônia Monte Bonito...	36
Figura 11 - Extração de areia Silveira, próxima a ETA Sinotti no município de Pelotas, na colônia Monte Bonito.....	37
Figura 12 - Ponte do Retiro, no município de Pelotas próximo a Polícia Rodoviária Federal na BR-116.....	38
Figura 13 - Fazenda da Graça, no município de Pelotas, bairro Posto Branco no distrito sede .....	39
Figura 14 - Ponte da Galatéia, no município de Pelotas entre a colônia de pescadores Z-3 e o bairro Areal.....	40
Figura 15 - Ponte do Laranjal, no município de Pelotas, distrito sede.....	41
Figura 16 - Chácara da Brigada, no município de Pelotas no distrito sede.....	42
Figura 17 - Descrição dos procedimentos de preparação e análise das amostras. ..	45
Figura 18 – Resultados do íon fluoreto nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	48
Figura 19 - Resultados do íon cloreto nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	50

Figura 20 - Resultados do íon nitrito nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	51
Figura 21 - Resultados do íon nitrato nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	52
Figura 22 - Resultados do íon sulfato nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	54
Figura 23 - Resultados do íon fosfato nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	55
Figura 24 - Resultados do íon amônio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	56
Figura 25 - Resultados do íon sódio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	58
Figura 26 - Resultados do íon potássio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	59
Figura 27 - Resultados do íon magnésio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	61
Figura 28 - Resultados do íon cálcio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	62
Figura 29 - Ilustração do ciclo hidrológico.. ....	67
Figura 30 - Esquematização do ciclo do nitrogênio.....	69
Figura 31 - Esquematização do ciclo do enxofre.....	72
Figura 32 - Esquematização do ciclo do fósforo.....	74
Figura 33 - Escala de concentração de H <sup>+</sup> .....	81

## Lista de Tabelas

Tabela 1- Demonstração do tempo de permanência nos diversos estados físicos da água e do volume de água no planeta Terra.....	15
Tabela 2- Médias pluviométricas mensais no período referente ao início do Outono de 2009 até o final do Verão de 2010. ....	23
Tabela 3 - Quantidade em hectares das áreas e seus usos na BHAP.....	24
Tabela 4 - Cronograma de amostragem com divisão sazonal e natureza da coleta.	43
Tabela 5 - Apresentação dos valores do íon fluoreto detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	49
Tabela 6 - Apresentação dos valores do íon cloreto detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	50
Tabela 7 - Apresentação dos valores do íon nitrito detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	51
Tabela 8 - Apresentação dos valores do íon nitrato detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	53
Tabela 9 - Apresentação dos valores do íon sulfato detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	54
Tabela 10 - Apresentação dos valores do íon fosfato detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	55
Tabela 11 - Apresentação dos valores do íon amônio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	57
Tabela 12 - Apresentação dos valores do íon sódio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS. ....	58
Tabela 13 - Apresentação dos valores do íon potássio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do	

Arroio Pelotas, Pelotas, RS.....	60
Tabela 14 - Apresentação dos valores do íon magnésio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.....	61
Tabela 15 - Apresentação dos valores do íon cálcio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.....	63
Tabela 16 - Apresentação dos valores das medições de pH e condutividade elétrica em cada um dos pontos no período de outono de 2009 ao verão de 2010. ....	64
Tabela 17 – Médias aritméticas dos íons quantificados e precipitação média na BHAP. ....	64
Tabela 18 - Apresentação dos valores do cálculo de correlação de Pearson entre os parâmetros: íon, índices pluviométricos, pH e condutividade. ....	65

## **Lista de siglas**

AP – Arroio Pelotas

APP – áreas de preservação permanente

BH – Bacia hidrográfica

BHAP – Bacia hidrográfica do Arroio Pelotas

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DDE – Composto metabólico do DDT

DDT – Dicloro-Difenil-Tricloroetano

DQO – Demanda Química de Oxigênio

FURG – Universidade Federal do Rio Grande

LOG – Laboratório de Oceanografia Geológica

NOAA - *National Oceanic Atmospheric Administration*

PCRS – Planície Costeira do Rio Grande do Sul

ESRG – Escudo Sul-riograndense

UFPeI – Universidade Federal de Pelotas

## Sumário

1. Introdução .....	14
1.1 Justificativa .....	14
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo geral .....	17
1.2.2 Objetivos específicos .....	17
2. Área de estudo .....	17
2.1 Localização.....	17
2.2 Geologia e Geomorfologia .....	19
2.2.1 Escudo Sul-riograndense .....	21
2.2.2 Planície Costeira .....	21
2.3 Clima.....	22
2.4 Vegetação e uso do solo .....	24
3. O Estado da Arte.....	28
3.1 Revisão Bibliográfica .....	28
3.2 O estudo dos recursos hídricos como temática da análise ambiental .....	31
4. Material e métodos .....	33
4.1 Área de amostragem .....	33
4.2 Amostragem .....	43
4.3 Material de amostragem .....	43
4.4 Métodos .....	44
4.4.1 Métodos de coleta.....	44
4.4.2 Preparação dos frascos coletores e dos materiais de laboratório.....	44
4.4.3 Filtragem e acidificação das amostras .....	44
4.5 Técnicas analíticas .....	45

4.5.1 pH e condutividade.....	45
4.5.2 Cromatografia iônica .....	46
4.5.3 Coeficiente de correlação de Pearson .....	46
4.5.4 Média aritmética simples e desvio padrão .....	47
5. Resultados e discussões.....	48
5.1 Quantificação dos íons .....	48
5.1.1 Ânions .....	48
5.1.2 Cátions .....	56
5.2 pH e condutividade .....	63
5.3 Coeficiente de Correlação .....	64
5.4 Discussão dos resultados .....	66
5.4.1 O ciclo hidrológico .....	67
5.4.2 Amônio, Nitrito, Nitrato e o ciclo do nitrogênio .....	68
5.4.3 O Sulfato e o ciclo do enxofre .....	71
5.4.4 O Fosfato e o ciclo do fósforo .....	73
5.4.5 Cloreto, Sódio, Cálcio, Potássio e Magnésio .....	75
5.4.6 Fluoreto .....	79
5.4.7 pH e condutividade elétrica .....	80
6. Conclusões.....	82
7. Trabalhos futuros .....	86
8. Referências bibliográficas .....	91

## **1. Introdução**

A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP) está localizada entre os municípios de Arroio do Padre, Canguçu, Morro Redondo e Pelotas, na região Sudeste do Rio Grande do Sul, com área total de aproximadamente 91.000 ha (MEGIATTO e KOESTER, 2009).

Neste recorte espacial, são desenvolvidas diversas atividades humanas, como a pecuária, a agricultura, a pesca e o lazer. Esse recurso hídrico é utilizado ainda como complemento para a Estação de Tratamento de Água Sinotti, destinado ao abastecimento urbano da cidade de Pelotas. Todas estas atividades aferem impactos que podem ser nocivos ao ambiente e, em conseqüência, podem afetar a Biota de maneira geral.

Dessa forma, com o intuito de que sejam conhecidas as propriedades químicas deste recurso hídrico, a proposta do presente estudo é identificar quantitativa e qualitativamente os íons maiores, sendo analisados os ânions amônio, cálcio, magnésio, potássio e sódio; e os cátions cloreto, fluoreto, fosfato, nitrato, nitrito e sulfato nas águas superficiais do Arroio Pelotas. Para que se possa verificar a ocorrência de variações nas concentrações destes ânions e cátions e se a partir dessas alterações houveram impactos na qualidade deste recurso hídrico.

### **1.1 Justificativa**

A investigação científica no âmbito da qualidade da água se apresenta como uma das questões fundamentais da humanidade no século XXI. Esta crescente importância se dá por conta das diversas atividades humanas dependentes de água doce, bem como pela necessidade deste recurso para a ocorrência e manutenção da vida. Cabe destacar que a água apresenta além do seu papel imperativo para a sustentação da qualidade de vida, um caráter que assume contornos geopolíticos, fato abordado na acepção onde se afirma que:

Mesmo que primitiva, uma comunidade necessita de água para suas necessidades higiênicas, alimentares, etc., pois se trata de um recurso fundamental para a existência da vida. Existem, no planeta, inúmeras situações de ecossistemas em estresse, devido à escassez de água, e são vários os casos de disputas existentes entre países que dispõem da mesma fonte de água. Acredita-se que, em 20 anos, haverá no mundo uma crise

semelhante à do petróleo, ocorrida em 1973, relacionada à disponibilidade de água de boa qualidade. Assim como ocorreu no passado com derivados do petróleo, a água está se tornando uma *commodity* em crise. (ROCHA *et al.* 2004 p. 37)

A importância que a água doce assume se justifica pela sua pequena quantidade quando comparada com a água salgada existente no planeta, conforme observado na Tabela 1 é importante observar que o tempo médio de permanência apresenta variação quando se compara o tipo de reservatório. Considerando essa premissa, quando se discute a importância da investigação científica acerca da qualidade das águas superficiais do Arroio Pelotas, deve-se levar em consideração sua importância como recurso natural estratégico, tanto em termos ecossistêmicos, quanto em termos geopolíticos.

Tabela 1- Demonstração do tempo de permanência nos diversos estados físicos da água e do volume de água no planeta Terra (KARMANN *et al* 2003).

<b>Reservatório</b>	<b>Volume (km<sup>3</sup> X 10<sup>6</sup>)</b>	<b>Volume (%)</b>	<b>Tempo médio de permanência</b>
<b>Oceanos</b>	1.370	94	4000 anos
<b>Geleiras e capas de gelo</b>	30	2	10-1000 anos
<b>Águas Subterrâneas</b>	60	4	2 semanas a 10.000 anos
<b>Lagos, rios, pântanos e reservatórios artificiais</b>	0,2	<0,01	2 semanas a 10 anos
<b>Umidade nos solos</b>	0,07	<0,01	2 semanas a 1 ano
<b>Biosfera</b>	0,0006	<0,01	1 semana
<b>Atmosfera</b>	0,130	<0,01	10 dias

Assim, quando são abordados assuntos referentes à temática dos recursos hídricos, deve-se reconhecer a vulnerabilidade deste recurso às atividades do ser humano, bem como a vulnerabilidade do ser humano aos problemas de saúde advindos de águas contaminadas como consequência de atividades

sócioeconômicas desenvolvidas de forma irracional. Dessa maneira, apresenta-se como de suma importância a pesquisa ambiental com enfoque na qualidade dos recursos hídricos por reconhecer-se que:

A descarga de lixos tóxicos provenientes de efluentes industriais, os processos de drenagem agrícola, os derrames acidentais de lixos químicos e os esgotos domésticos lançados em rios e mares contribuem para a contaminação dos ecossistemas aquáticos com uma ampla gama de agentes tóxicos como metais pesados, agrotóxicos, compostos orgânicos, entre outros. (ARIAS *te. al* 2007 pág. 2).

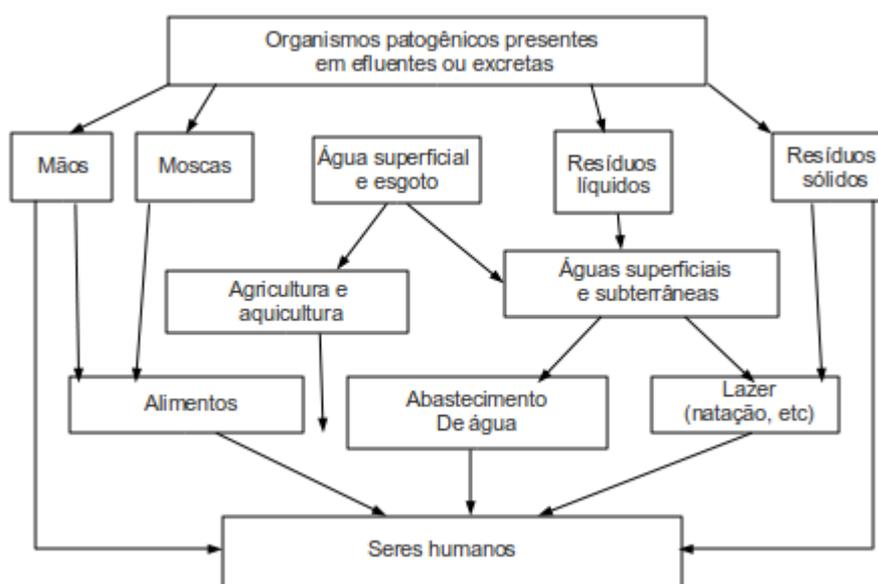


Figura 1 - Esquematização dos vetores de contaminação d'água por organismos patogênicos (BRANCO, *et. al.* 1999).

Tendo em vista as dimensões multidisciplinares das pesquisas ambientais sobre recursos hídricos, seja como trabalho isolado para diagnosticar a qualidade de recursos naturais locais, seja como ferramenta auxiliar para o planejamento e a gestão ambiental em âmbito regional, as premissas devem ser as mesmas: os estudos ambientais, independentes do tema selecionado, devem constituir investigações de cunho integrador entre as mais diversas áreas do conhecimento com o objetivo de alcançar a sustentabilidade. Portanto, a execução de atividades de monitoramento ambiental da qualidade das águas superficiais, com vistas a avaliar os possíveis riscos à saúde humana e de contaminação do ambiente, apresenta-se como um segmento de investigação científica promissor, tanto em termos científicos, quanto em termos de retorno sócioambiental.

A figura 1 demonstra possíveis vetores de contaminação dos recursos hídricos em geral. Os recursos hídricos, tanto superficiais, quanto subterrâneos, são expostos a diversas fontes de poluição do ambiente, as quais são difundidas por diferentes vetores. Estes meios pelos quais os poluentes são propagados podem servir de veículo para organismos patogênicos, através do aporte de esgotos e de dejetos de animais. Observa-se que há também o risco de transporte de substâncias advindas da agricultura, como por exemplo, adubos sintéticos e defensivos agrícolas que podem ocasionar decréscimo da qualidade de vida nos sistemas ambientais, o que pode causar uma série de malefícios a saúde humana.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Estudar a qualidade das águas superficiais do Arroio Pelotas e seus aspectos ambientais em 9 pontos distribuídos ao longo do curso principal da BHAP, sendo quatro pontos localizados no Escudo Sul-riograndense e cinco na Planície Costeira do Rio Grande do Sul por análise iônica, março de 2009 até fevereiro de 2010.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

a) Verificar a quantidade dos cátions amônio, cálcio, magnésio, potássio e sódio; e dos ânions cloreto, fluoreto, fosfato, nitrato, nitrito e sulfato nas águas superficiais do Arroio Pelotas nos períodos de outono, inverno, primavera de 2009 e verão de 2010;

b) Localizar potenciais fontes de contaminação;

c) Comparar os valores dos parâmetros analisados com os valores estipulados na Resolução CONAMA n°357 e na Portaria n°518 do Ministério da Saúde.

## **2. Área de estudo**

A área de estudo é a BHAP, onde foram investigadas as características hidroquímicas do Arroio Pelotas (Figura 2). A compreensão dos aspectos fisiográficos desta paisagem, apresenta-se como premissa básica de um estudo ambiental integrado. Os aspectos referentes à composição dos materiais constituintes das rochas e sedimentos desta região podem influenciar a composição química das águas superficiais do Arroio Pelotas, e constituir fontes naturais dos ânions e cátions analisados.

O regime pluvial na BHAP deve ser observado ao longo das quatro estações, pois pode influenciar na variação da composição deste recurso hídrico, pois ao mesmo tempo em que determina a diluição das águas superficiais neste corpo d'água, na ausência de chuvas, pode aumentar a concentração de determinadas substâncias neste curso d'água. O regime pluviométrico estabelece incremento no escoamento superficial, que serve de vetor para o transporte de camadas superficiais do solo, as quais podem conter teores dos íons analisados, seja por processos naturais - como, por exemplo, os ciclos biogeoquímicos - sejam por ações humanas – como, por exemplo, o aporte de adubos sintéticos a partir da agricultura.

Dessa maneira, a descrição dos aspectos constituintes desse sistema, bem como uma representação espacial da área de estudos serão apresentados nos itens a seguir.

### **2.1 Localização**

A BHAP está compreendida entre os municípios de Arroio do Padre, Canguçu, Morro Redondo e Pelotas, situados no Sul do Rio Grande do Sul, correspondente ao extremo Sul do Brasil. A figura 2 indica a localização da área estudada. É possível observar que a cabeceira da BHAP localiza-se no município de Canguçu, e que nos municípios de Morro Redondo e Arroio do Padre, encontram-se alguns tributários do AP. Percebe-se também que a maior parte da BHAP está localizada no município de Pelotas, nesta área que está à foz do AP.

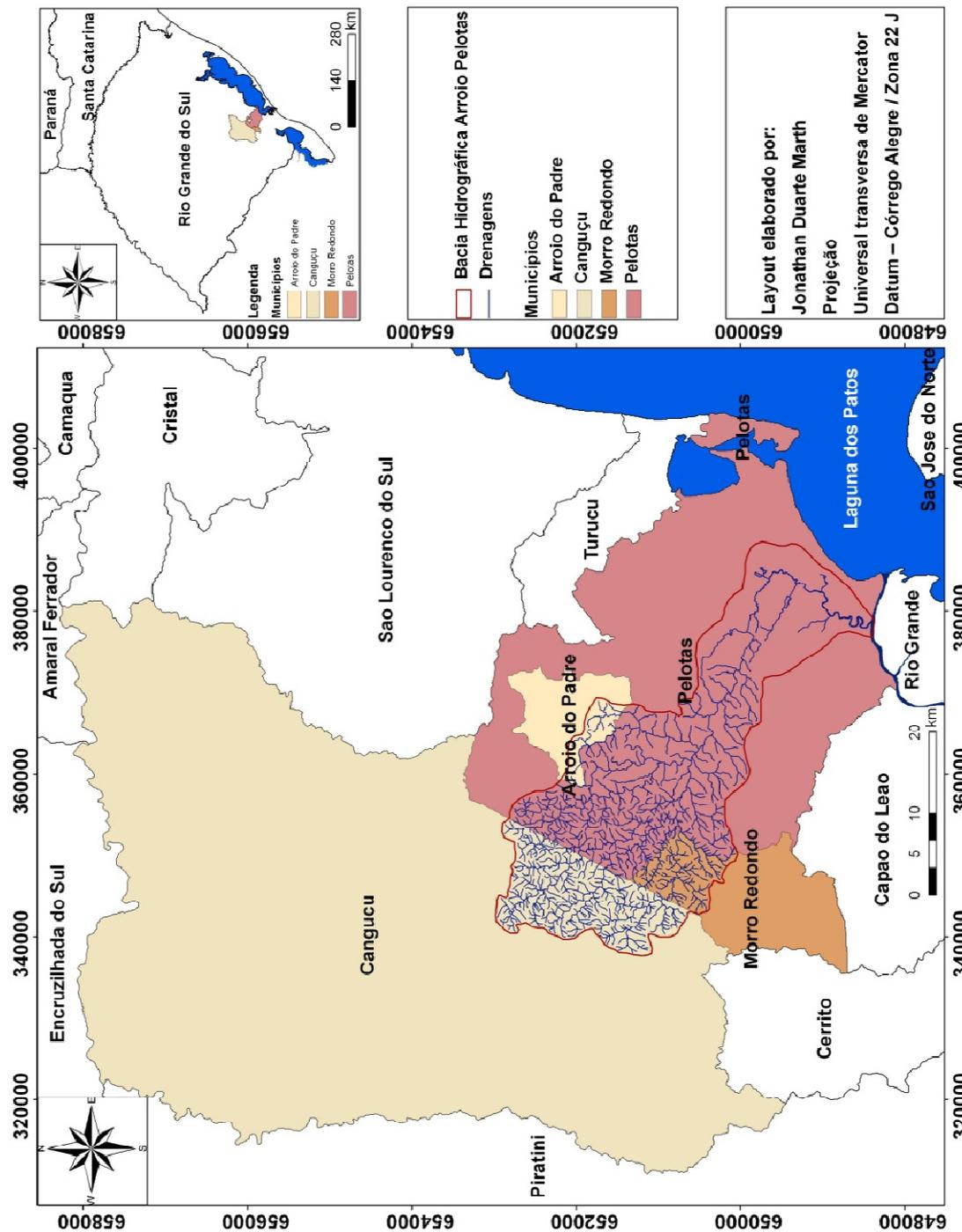


Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas, nos municípios de Arroio do Padre, Canguçu, Capão do Leão e Pelotas, no Sul do Rio Grande do Sul com a localização dos limites municipais.

## **2.2 Geologia e Geomorfologia**

A BHAP localiza-se em duas distintas províncias geológico-geomorfológicas, incluindo o Escudo Sul-riograndense e a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Figura 3). Estas possuem diferentes origens, idades e composições litológicas e sedimentares, as quais podem interferir nos aspectos composicionais das águas superficiais do Arroio Pelotas. Assim, para melhor compreensão das interações entre os aspectos referentes ao arcabouço geológico-geomorfológico com os recursos hídricos da BHAP, a descrição das formações existentes na área de estudo é apresentada nos itens 2.2.1 e 2.2.2.

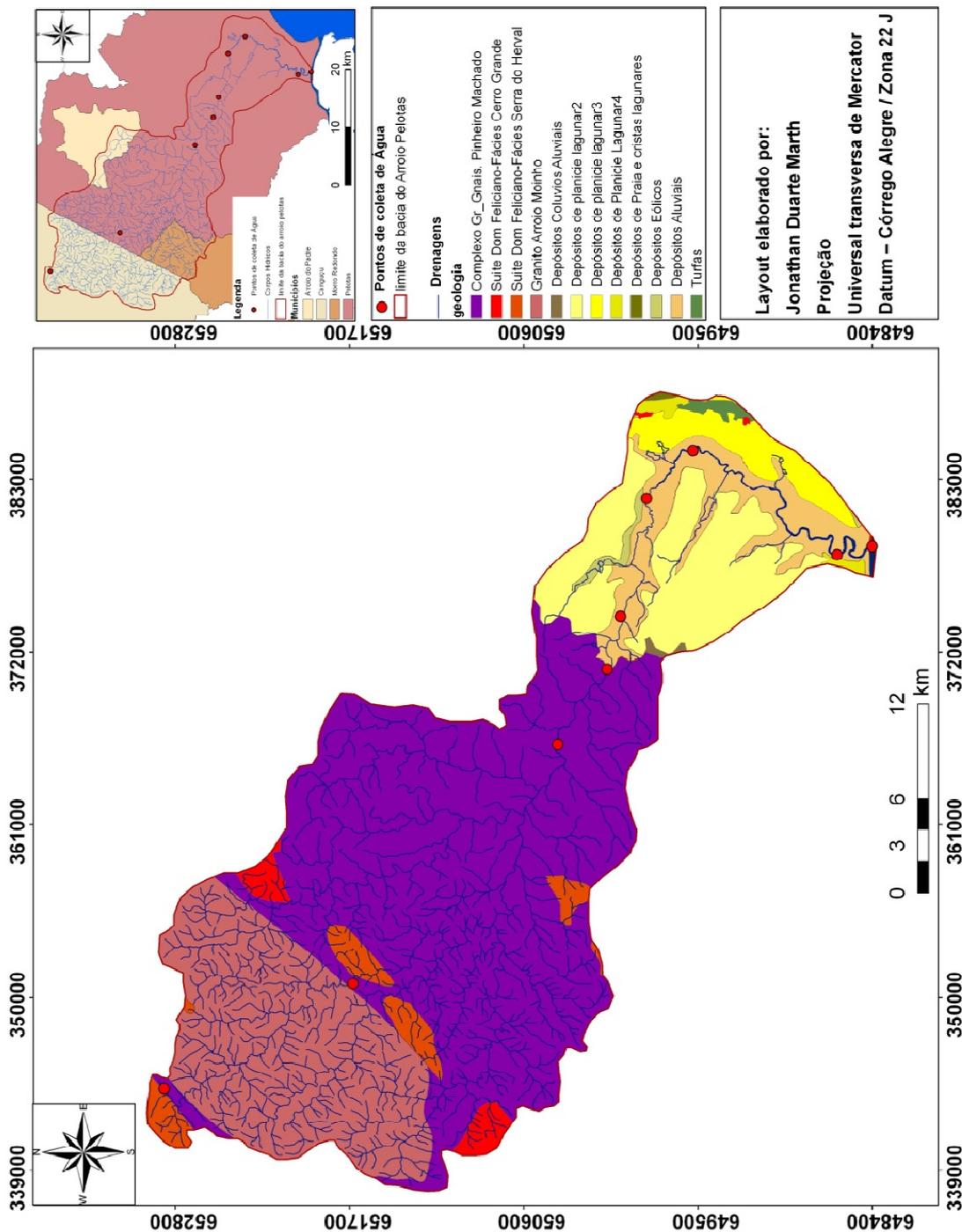


Figura 3 - Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas sobreposta às formações geológicas das províncias Escudo Sul-riograndense e Planície Costeira.

### 2.2.1 Escudo Sul-riograndense

O Escudo Sul-riograndense é a unidade morfoestrutural mais antiga do Rio Grande do Sul. Constitui-se principalmente de rochas graníticas, de origem pré-cambriana, entretanto nesta unidade morfo-estrutural encontram-se algumas rochas sedimentares, diques basálticos e algumas rochas metamórficas. As rochas do Escudo Sul-riograndense são divididas por PHILLIP *et. al.* em suítes intrusivas. Dentro dos limites da BHAP, observa-se as seguintes estruturas geológicas: Complexo Granito-gnaissico Pinheiro Machado, Suíte Dom Feliciano-fácies Cerro Grande, Suíte Dom Feliciano-fácies Serra do Herval e Granito Arroio Moinho (Figura 3). Nestas suítes, existem materiais litológicos com tendências alcalinas e composição cálcico-alcalinas de alto à médio teor de potássio (PHILLIP *et. al.*, 2003), com alguns minerais solúveis em água, que podem afetar a composição recursos hídricos na BHAP.

### 2.2.2 Planície Costeira

A Planície Costeira está localizada no Sudeste do Rio Grande do Sul, com área de 33.000 km, e extensão de Torres até o Chuí. Trata-se de uma província formada ao final do Período Terciário, com crescimento acentuado no Quaternário (TOMAZELLI *et al.* 2000). Esta província geológica teve sua origem a partir da deposição de leques aluviais e de quatro distintos eventos deposicionais transgressivo-regressivos, os quais formaram estruturas estratigráficas do tipo laguna-barreira (TOMAZELLI *et al.* 2000).

A Planície Costeira pode ser dividida em quatro sistemas deposicionais denominados: Sistema Laguna Barreira I, Sistema Laguna Barreira II, Sistema Laguna Barreira III e Sistema Laguna Barreira IV. Estes sistemas deposicionais estão representados pelos depósitos colúvio-aluviais, depósitos de Planície Lagunar II, III e IV, depósitos de Praia e Cristas Lagunares, depósitos Eólicos, depósitos Aluviais e Turfas (Figura 3). A respeito da influência dos sedimentos na composição das águas naturais, observa-se que:

Os sedimentos hidrolisados são formados em sua maior parte por partículas provenientes da hidrólise de outras rochas, como por exemplo, as argilas. Em sua formação absorve uma grande quantidade de água que vai sendo expulsa lentamente durante os processos de litificação. Estas águas liberadas podem ter uma grande quantidade de sais, principalmente se a argila for de origem marinha. Em geral apresentam um conteúdo elevado de Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>+</sup> e sílica. (SANTOS, 1997 p.87)

Dessa forma, compreende-se que natureza do depósito sedimentar pode influenciar na composição das águas subterrâneas e das águas superficiais. A permo-percolação de água nesses sedimentos pode deixar traços composicionais nestas águas, constituindo, portanto, uma importante fonte natural dos íons quantificados no presente estudo.

### **2.3 Clima**

As variações climáticas na região da BHAP servem como elemento para a compreensão dos resultados obtidos, pois o aumento ou a redução das chuvas na área de estudo influencia o volume de água doce de origem continental drenada pela BHAP. Quando há a diminuição do volume de água doce de origem continental, pode ocorrer o aumento na concentração de alguns íons na água do AP, ao mesmo tempo em que as regiões situadas próximas a foz podem sofrer a influência de água salinizada do Canal São Gonçalo, tais como cloreto, sódio, magnésio, potássio e cálcio.

O clima da região sudeste do RS caracteriza-se como subtropical úmido, com médias anuais registradas pela EMBRAPA/ETB – Campus da UFPel no período de 1971 a 2000 de 17,8°C, é considerado um clima Mesotérmico Brando (MAPA BRASIL CLIMA, 1978). No mesmo período, o regime pluviométrico se mostra relativamente bem distribuído ao longo do tempo. A precipitação média registrada nos últimos 30 anos é de 1366,9 mm, o que demonstra um comportamento padrão do clima na região e que concorda com a afirmação de Mendonça e Danni-Oliveira (2007):

Uma das principais características que distinguem os climas da porção Sul do restante do país é sua maior regularidade na distribuição anual da pluviometria (entre 1250 e 2000 mm), associada às baixas temperaturas do inverno. Essas características são resultantes da associação entre a posição geográfica da área, seu relevo e a atuação dos sistemas atmosféricos intertropicais e polares. (pág. 178)

Dessa forma, a região sudeste do RS, por possuir uma distribuição regular das chuvas ao longo do tempo, conforme os dados fornecidos pela EMBRAPA/ETB (1971-2000) apresenta regime pluvial que é proporcionado, na maioria dos eventos, pela formação dos sistemas frontais, mas sistemas convectivos também atuam na

região.

A Figura 4 e a Tabela 2 demonstram o comportamento climático na região Sul do Rio Grande do Sul no referido período de amostragem das águas superficiais do Arroio Pelotas. Os dados foram obtidos a partir do Satélite meteorológico NOAA<sup>1</sup>, demonstram que no referido período de coleta houve uma diminuição na precipitação nos meses de Abril, Maio, Junho e Julho, e que a partir de Agosto os índices pluviométricos apresentaram tendência ao aumento.

Tabela 2- Médias pluviométricas mensais no período referente ao início do Outono de 2009 até o final do Verão de 2010 obtidos a partir do satélite NOAA.

Período	Precipitação (mm/dia)	Média climatológica
mar/09	6,807	6,134709677
abr/09	2,163	4,328935484
mai/09	1,559	2,768064516
jun/09	1,235	2,495741935
jul/09	0,665	2,027225806
ago/09	3,634	1,68283871
set/09	4,907	3,234129032
out/09	2,18	3,925419355
nov/09	9,816	4,834064516
dez/09	7,88	6,256322581
jan/10	8,421	7,902483871
fev/10	10,386	7,774096774
mar/10	4,437	6,134709677

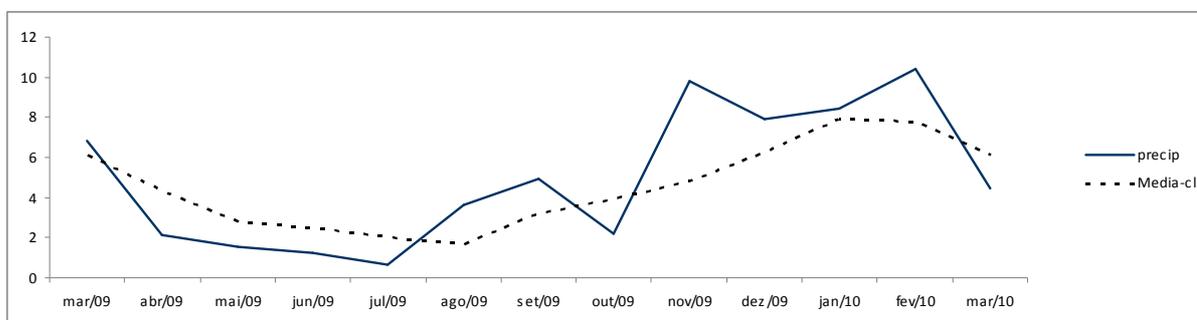


Figura 4 - Médias pluviométricas diárias e média climatológica no período referente ao início do Outono de 2009 até o final do Verão de 2010 obtidos a partir do satélite

<sup>1</sup> National Oceanic Atmospheric Administration.

NOAA.

## 2.4 Vegetação e uso do solo

A vegetação da BHAP se situa em uma região denominada zona de transição, situada entre os domínios morfoclimáticos das áreas Mamelonares Tropical-atlântica florestadas e Coxilhas Subtropicais com pradarias mistas (AB'SABER, 2003). Essa região, não se caracteriza apenas por possuir as características de um único domínio morfoclimático, mas situa-se com características próximas as do domínio das áreas mamelonares.

Esta mesma região foi classificada por SUERTEGARAY (2004) como "Agrícola 1" (na Planície Costeira) e "Campos Sujos 1" (no Escudo Sul-riograndense), a qual já apresenta modificações antrópicas a ponto de tornar complexa a classificação da região da BHAP enquanto área natural.

MEGGIATO e KOESTER (2009) apresentam o mapeamento do uso do solo na BHAP, onde estes especificam a heterogeneidade espacial na BHAP (Tabela 3 e Figura 5). Sobre as atividades mapeadas na BHAP, os autores destacam a ocorrência de conflitos entre o uso do solo e a legislação ambiental vigente, promulgada pela resolução CONAMA e nº 303 de 2002, a qual determina distância mínima de 30 metros de corpos d'água com menos de 10 metros de largura. O mapeamento do uso dos solos, na BHAP, vai ao encontro das classificações estabelecidas por AB'SABER (2003) e SUERTEGARAY (2004).

Tabela 3 - Quantidade em hectares das áreas e seus usos na BHAP (MEGGIATO e KOESTER, 2009).

Classe	Descrição	Área
Água antrópico	Açudes	373
R	Reflorestamento	1656,14
Ag	Agropecuária	61883,12
Pa	Vegetação com influência fluvial	1168,84
Acc	Agricultura de culturas cíclicas	12305,02
Iu	Áreas urbanizadas	866,25
Im	Mineração	3,35
Ca	Floresta Estacional Aluvial	1990,15
Es	Floresta estacional semidecidual submontana	10537,53
Fm	Floresta semidecidual Montana	149,75
Água	Arroio Pelotas	129,24

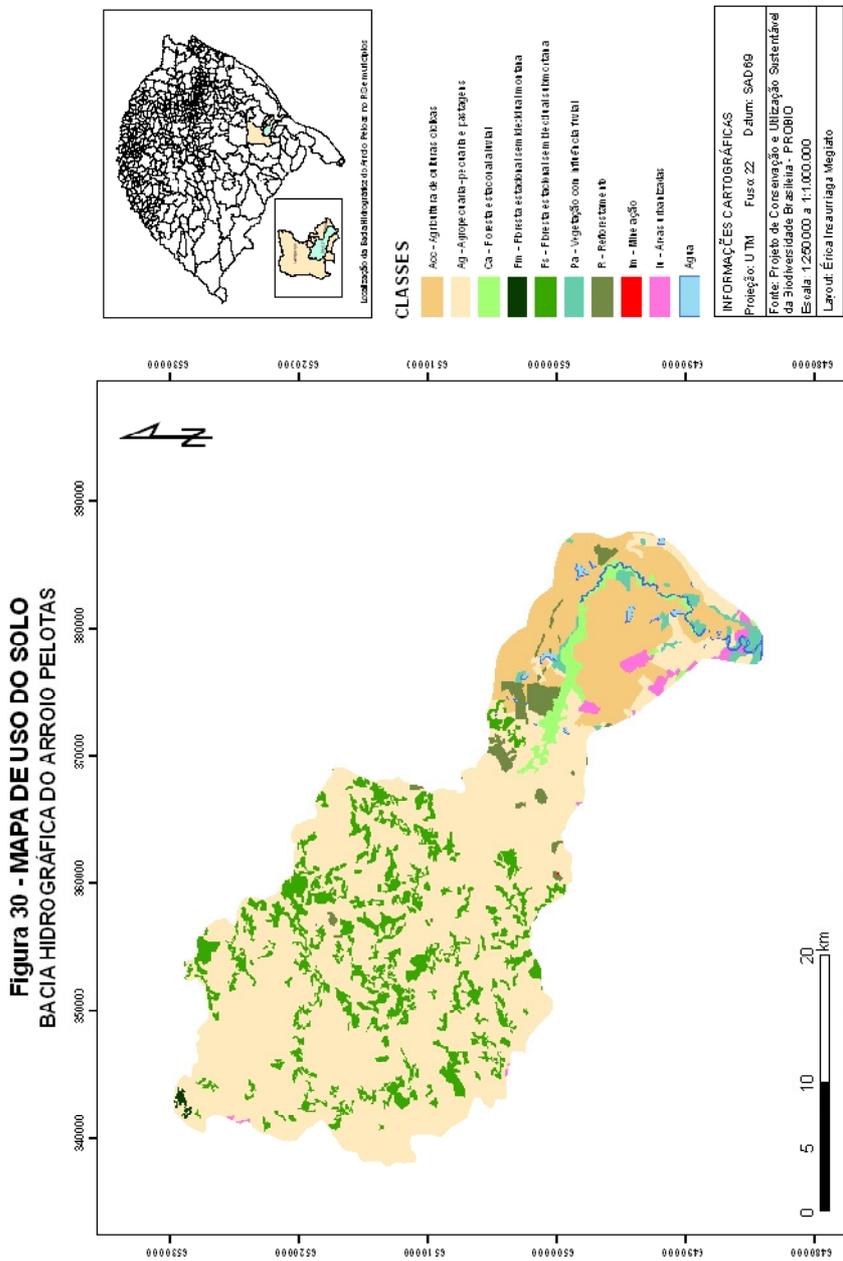


Figura 5 - Mapa de uso do solo (MEGGIATO e KOESTER, 2009)

partir dos apontamentos realizados por MEGGIATO e KOESTER (2009), conforme mostrado na Tabela 3 e na Figura 5 percebe-se a ocorrência de aspectos naturais, como por exemplo, a vegetação, simultaneamente a diversas atividades humanas, tais como extrativismo vegetal e mineral, produção agrícola e pecuária, bem como a ocorrência de urbanização na região ao Sul da BHAP. Os conflitos inerentes a ocupação e ao desenvolvimento das atividades humanas neste recorte espacial tornam-se explícitas na Figura 6, onde MEGGIATO e KOESTER (2009) destacam a ocorrência entre APP's<sup>2</sup> neste caso, a vegetação ciliar (destacada em verde na Figura 6) e o uso do Solo (destacado em vermelho na Figura 6). No mapa abaixo, é perceptível que as atividades humanas se encontram em desacordo com a resolução CONAMA e nº 303 de 2002. No que tange a composição espacial da área de estudo é possível observar que as atividades humanas predominam. Sendo perceptível que das atividades antrópicas, a agropecuária ocupa a maior área, seguido da agricultura de culturas cíclicas e do reflorestamento e por fim das áreas urbanizadas.

---

<sup>2</sup> Áreas de Preservação Permanente

**Figura 33 - MAPA DE CONFLITOS NAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE  
BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PELOTAS**

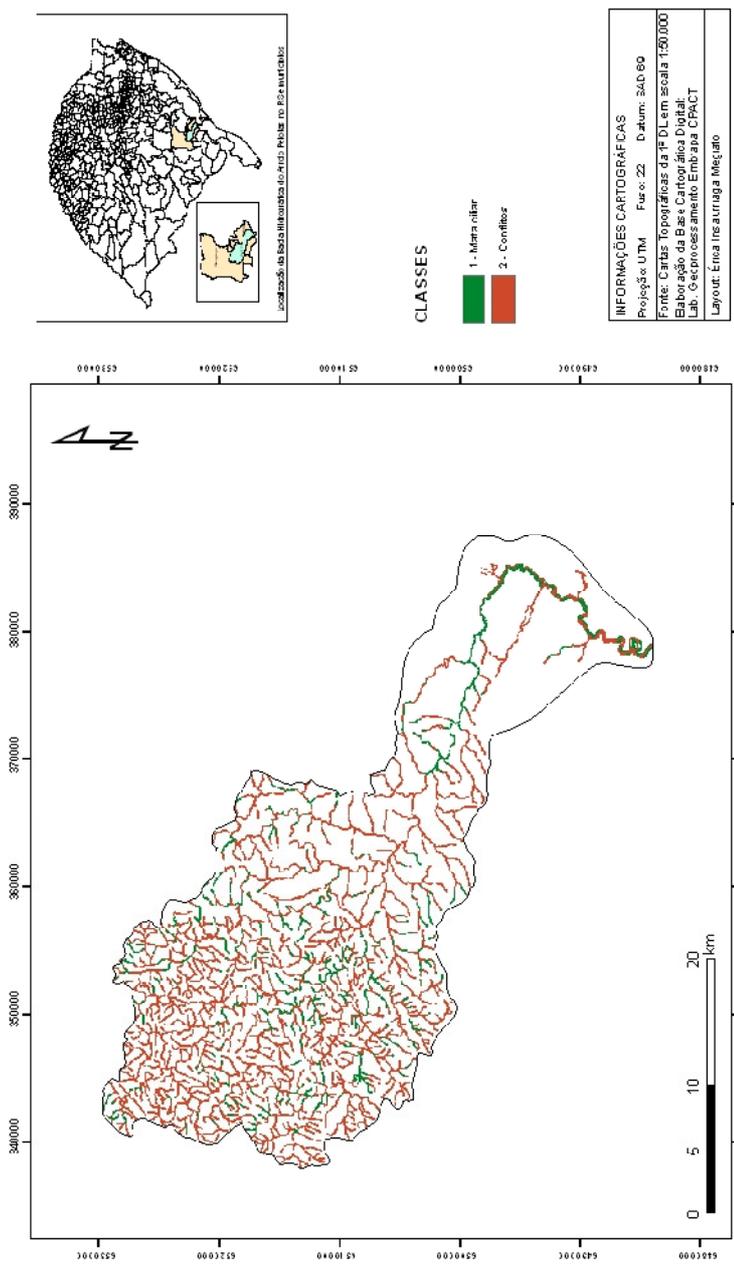


Figura 6 - Mapa de conflitos no uso do Solo na BHAP (MEGGIATO e KOESTER, 2009).

### **3. O Estado da Arte**

#### **3.1 Revisão Bibliográfica**

No âmbito das pesquisas ambientais com o enfoque nos impactos das atividades humanas nos recursos hídricos, diversas investigações vem sendo realizadas em escala mundial, nacional e regional. A seguir são descritos alguns trabalhos importantes sobre a avaliação de águas superficiais que impliquem na identificação de poluentes e contaminantes de ordem natural e/ ou antropogênica, que fundamentam o escopo desse trabalho.

Em âmbito mundial, várias publicações foram verificadas: Em LANDIS (1991), o autor levantou questionamentos acerca da qualidade das águas e dos efeitos aferidos aos recursos hídricos em nascentes por conta das atividades agrícolas, industriais e urbanas. Este trabalho propôs o gerenciamento sistemático das fontes de poluição em nascentes e a sinergia entre as instâncias sociais e políticas, afim da preservação destes recursos. A partir destas propostas o autor recomenda o aprofundamento do conhecimento acerca de fontes poluidoras oriundas de atividades agrícolas, a partir do qual sejam desenvolvidos planos específicos adaptados a cada atividade a fim de minimizar os impactos da agricultura nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

ELMI (2002) enfatizou a poluição de nitrato em superfície e sub-superfície como problema para os ecossistemas agrícolas. Este estudo consistiu em compreender as diferenças de contaminação e tratamento dos lençóis freáticos, a partir de fertilizantes nitrogenados, administrados em lavouras de milho. A partir desta compreensão, foi possível comparar diferentes sistemas de irrigação, no intuito de avaliar o mais eficaz para fim de facilitar a desnitrificação em regiões agrícolas. Neste estudo observou-se a maior eficácia do sistema de sub irrigação em relação ao sistema de drenagem livre, entretanto há a ressalva de que o sistema de sub irrigação incrementa a carga de N<sub>2</sub>O para a atmosfera.

SANKARARAMAKRISHNAN *et. al.* (2005) alertou para a concentração em níveis alarmantes de organoclorados e organofosforados. Este estudo abarcou a região de Kankur, mais especificamente no rio Ganges, norte da Índia, se valendo

da análise de águas superficiais e subterrâneas para detecção de  $\gamma$ -HCH, *malathion* e *dieldrin*, entre outros compostos encontrados em agrotóxicos. Neste estudo, foram quantificadas quantidades de isômeros HCH ( $\gamma$ ,  $\delta$ -HCH,  $\beta$  e  $\alpha$ ), *dieldrin* e *malathion*, não havendo quantificação de DDT e DDE nas amostras coletadas. Dessa forma, o autor alerta para a urgência da implementação de um plano de manejo, bem como de um monitoramento regular deste recurso hídrico.

PAPADAKIS (2007) discutiu que, crescimento das atividades agrícolas, industriais e do turismo nas cidades de Serres, Chalkidiki e Thessaloniki, Grécia, estaria ocasionando a degradação da água potável. Desta forma a partir das amostras realizadas, o autor quantificou teores de poluição de nitrato nas planícies de Thessaloniki e Serres, que demandam a implementação de um programa de desnitrificação da água, sendo que na região de Serres a implementação de um programa de despoluição da água apresenta-se com maior urgência do que em Thessaloniki.

RIBBE (2008) avaliou a poluição não pontual por nitrogênio, ocasionada por atividades agrícolas referentes a irrigação na bacia hidrográfica do Aconcagua, na região de Valparaíso, Chile. Neste estudo, foram analisadas as concentrações de nitrato e outros compostos nitrogenados, aplicados como fertilizantes nos campos de cultivo. Desta forma, o autor observou que há impactos ambientais significativos do ponto de vista ambiental, os quais são decorrentes de atividades agrícolas por causa da adubagem a base de compostos nitrogenados, com o aumento na quantidade de nitrogênio detectado nas águas desta bacia hidrográfica nos períodos de chuva.

Nas instâncias nacionais e regional, observa-se em *Controle da qualidade da água do Arroio Portão, RS*, de NAIME e FAGUNDES (2005) a realização de uma pesquisa sobre a gestão adequada dos recursos hídricos para o melhoramento da qualidade das águas do arroio. Localizado na BH do rio dos Sinos. Para o controle da qualidade destas águas, foram analisados os parâmetros Demanda Biológica de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido, sólidos sedimentáveis, pH, Cromo, temperatura, sólidos totais e sólidos suspensos. A partir destas análises foi possível observar que na região do ponto 1 de amostragem (situado mais próximo a nascente) foram detectados menos poluentes do que no ponto 2 (próximo a região central do município de portão), pois nesta região há despejo de efluentes urbano-industriais e do que no ponto 3 (nas proximidades da

foz do Arroio Portão, próximo ao Rio dos Sinos).

Foram realizados ainda, estudos referentes à qualidade de bacias hidrográficas, como por exemplo, BORTOLUZZI (2006). Este estudo analisou a presença de agrotóxicos em regiões destinadas ao cultivo do fumo, diferenciando-se dos demais autores ao dividir a microbacia estudada em três unidades de paisagem, visando, a partir disso, diferenciar a ação de elementos contaminantes advindos da agricultura. Os parâmetros analisados correspondem aos princípios ativos imidacloprid, atrazina, simazina e clomazone, para que desta forma se quantificasse o quão impactado e comprometido estes recursos hídricos estão. Este estudo concluiu que dependendo das formas de proteção adotadas, existem diferentes impactos aos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

MACHADO (2002) desenvolveu uma investigação científica no Canal São Gonçalo, situado na região Sul do Rio Grande do Sul, onde este autor realizou uma comparação entre análises de água realizadas pela Agência da Lagoa Mirim, Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e Superintendência de tratamento de água (SUTRA) em seis pontos de controle, distribuídos ao longo do curso d'água. Os parâmetros analisados foram: oxigênio dissolvido, demanda biológica de oxigênio, demanda química de oxigênio, turbidez, cloretos, alcalinidade, chumbo, cádmio, mercúrio, cromo, temperatura da água, manganês, cor sólidos suspensos, ferro, índice colimétrico, fosfato, nitrato e condutividade elétrica, cujos resultados foram comparados com os valores estipulados na resolução CONAMA n° 20/86. A partir destas análises o autor observou que: 1) As águas do canal São Gonçalo recebem uma grande quantidade de nutrientes e poluentes oriundos das áreas agrícolas e urbano-industriais drenadas por cursos d'água que deságuam neste curso d'água; 2) nos pontos próximos a cidade de Pelotas há maior aporte de poluentes por meio de esgotos em decorrência do aporte de dejetos domésticos para o Canal São Gonçalo; 3) a eclusa – construída para evitar a influência da água salobra da Lagoa dos Patos – serve como barreira a estes poluentes, o que divide o canal em duas partes com composição hidroquímica distintas. Observa-se a influência de íons de origem marinha na porção do canal situada no trecho entre eclusa-Lagoa dos Patos e a inexistência de íons de origem marinha no trecho entre eclusa-Lagoa Mirim.

Acerca da BHAP, foi desenvolvida a dissertação de MEGGIATO, que,

apresentou seus primeiros resultados no “Encontro dos Geógrafos Latino-americanos”, denominado *Geoprocessamento aplicado ao estudo da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas – RS*. Este estudo, entretanto, não tem enfoque na hidroquímica das águas superficiais do arroio pelotas, oriundos das atividades humanas, mas na espacialização das ações antrópicas para avaliação da evolução da paisagem.

Sobre a caracterização hidroquímica das águas superficiais do Arroio Pelotas ainda inexistem estudos, inclusive no levantamento de dados sobre fontes contaminadoras, mapas de sensibilidade ambiental e formação de banco de dados para o monitoramento, gerenciamento e planejamento ambiental na região Sul do Rio Grande do Sul. Sendo assim, além de contribuir para o conhecimento sobre o atual estágio de conservação dos recursos hídricos da região da zona costeira do sul do Brasil, especialmente, do Arroio Pelotas, a presente proposta permite alavancar a discussão sobre a necessidade de realização de estudos sobre esse assunto.

### **3.2 O estudo dos recursos hídricos como temática da análise ambiental**

A utilização das unidades paisagísticas para as investigações geográficas se apresenta como uma alternativa adequada para a análise ambiental integrada. Estas, por sua vez, permitem a utilização de técnicas quantitativas e qualitativas aplicadas a um sistema dinâmico e a compreensão de seu funcionamento.

Segundo BOTELHO (2004), para discussões acerca da sustentabilidade na utilização dos recursos naturais, a consideração de elementos diversos, bem como a delimitação da área de estudo deve considerar a seguinte afirmação:

Entendida como célula básica da análise ambiental, a bacia hidrográfica permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos de interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada está implícita na adoção desta unidade fundamental. Ao distinguirmos o estado dos elementos que compõe o sistema hidrológico (solo, água, ar, vegetação etc.) e os processos a ele relacionados (infiltração, escoamento, assoreamento, inundação, contaminação etc.) somos capazes de avaliar o equilíbrio do sistema ou ainda a qualidade ambiental nele existente (BOTELHO, 2004).

A análise dos impactos ambientais, quando se trata da unidade espacial acima citada, torna-se de fato integrante da análise sistêmica, pois além de se valer do conceito de Bacia Hidrográfica enquanto definição da Geografia Física, abarca também a dimensão político-administrativa de gestão de recursos hídricos.

No momento em que se assumem estas dimensões na análise da qualidade de determinada unidade espacial, a interação das dimensões políticas, sócioeconômicas e ambientais delineiam novas perspectivas para o planejamento e a gestão ambiental integrada.

Assim, a determinação da qualidade dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas se apresenta como uma temática adequada à investigação científica. Além de estes serem indispensáveis para a manutenção da vida no planeta, também são para a matriz produtiva da sociedade, por conta das atividades agrícolas e urbano-industriais dependerem dos recursos hídricos para sua efetivação.

SUGUIO (2006, p. 179) afirma que a água doce representa um recurso mais valioso que o petróleo para o homem. Tal afirmação se torna verossímil, quando, de acordo com o mesmo autor no séc. XX, enquanto havia a triplicação da população mundial, houve a sextuplicação do consumo de água doce (SUGUIO, 2006 p.193).

Estes fatos contribuem para a supervalorização da água por causa do aumento da demanda mundial, enquanto o aumento da população mundial colabora para o decréscimo da qualidade da mesma em termos microbiológicos e físico-químicos.

As questões referentes aos recursos hídricos, além dos aspectos econômicos, demandam atenção especial por conta do risco de seu esgotamento em termos de potabilidade, o que representa possivelmente a extinção para a espécie humana. Dessa forma, a Geografia como ferramenta auxiliar aos estudos ambientais, serve-se da Geoquímica ambiental, a qual pode ser caracterizada como:

A disciplina que estuda os processos geoquímicos da antroposfera, o compartimento terrestre geoquímico produzido pela atuação dos seres humanos como um conjunto e suas influências geoquímicas nos demais compartimentos terrestres. (RHODES, 2004 p.38)

Esta acepção se faz necessária quando se desenvolvem estudos sobre os impactos ambientais aferidos pelo homem, pois este é um ser da natureza, que se desenvolve num intercâmbio constante com os elementos desta (MORAES, 1994 p.75).

A geoquímica ambiental se insere como uma ferramenta de quantificação importante para as discussões acerca da qualidade ambiental de determinados sistemas ambientais. Cabe destacar que, no intercâmbio de matéria/energia, realizado pela espécie humana com a natureza, está sujeito às determinações econômico-sociais, o que faz com que existam conseqüências ao ambiente, que

resultam dos vários componentes estabelecidos entre sociedade e ambiente.

Assim, a capacidade do ambiente responder aos diferentes distúrbios que lhe são impostos, e que tendem a responder de diversas maneiras, o que pode resultar em equilíbrio ou desequilíbrio das condições ambientais em determinadas porções do espaço geográfico (GUERRA e MARÇAL, 2006 p.34). A esse respeito elenca-se TRICART (1977, p. 28) onde este autor afirma que a água serve de veículo a todos os elementos dissolvidos. O que pode ser utilizado para entender a qualidade ambiental como reflexo da ação do homem sobre o espaço e seus componentes em dado momento (BOTELHO, 2006 p.154).

Considerando os fatores acima citados, a utilização da análise da qualidade da água em Bacias Hidrográficas deve ser construída através da integração das áreas afins. Para tanto, as BH devem ser divididas em Unidades de Paisagem<sup>3</sup>, como fundamento básico para a aplicação da Geoquímica Ambiental, que de acordo com MIRLEAN *et al.* (2006) objetiva a compreensão da paisagem a nível químico, servindo como ferramenta auxiliar á compreensão da relação homem x natureza.

---

<sup>3</sup> Unidades de paisagem são áreas relativamente homogêneas, que apresentam relações entre as características fisiográficas de um território e das atividades antrópicas nele desenvolvidas. (GUERRA *et al.* 2006).

## 4. Material e métodos

### 4.1 Área de amostragem

A área de amostragem corresponde ao curso principal da BHAP (Figura 7), situada na região sudeste do Rio Grande do Sul, localizada entre os municípios de Arroio do Padre, Canguçu, Morro Redondo e Pelotas. Nesta BH, foram selecionados nove pontos de coleta, com base na acessibilidade – presença de estradas com condições de trafegabilidade – e em aspectos paisagísticos distintos como, os aspectos geológicos, geomorfológicos e as atividades humanas desenvolvidas nas imediações.

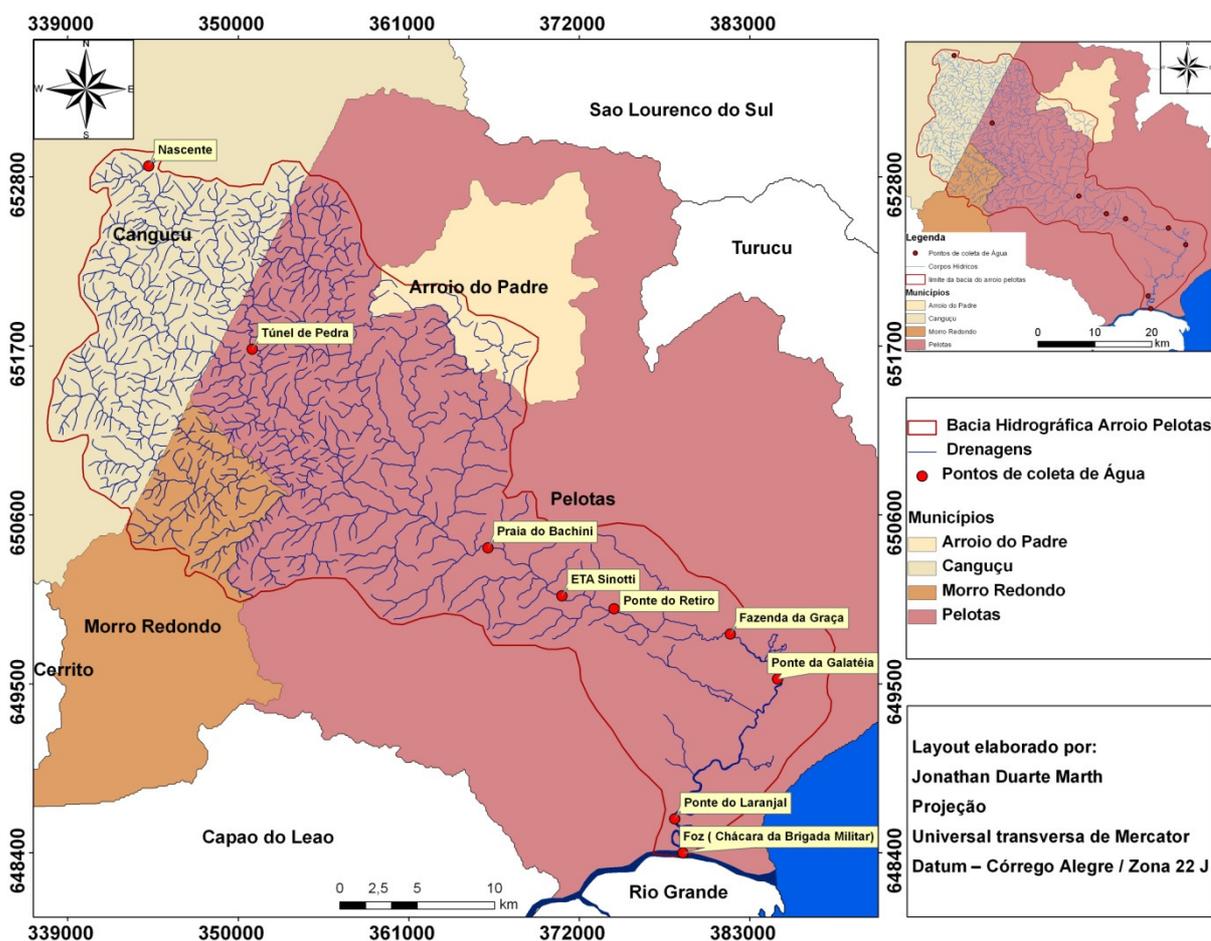


Figura 7 - Localização da área de estudos com os pontos de coletas marcados.

Abaixo seguem fotos de cada um dos pontos de coleta seguido de uma sucinta descrição das localidades:



Figura 8 - Nascente do Arroio Pelotas, no município de Canguçu (ponto 1 de amostragem).

O ponto de coleta 1 se localiza em uma das nascentes do Arroio Pelotas, no município de Canguçu. Esta região é classificada por MEGGIATO e KOESTER (2009) como região onde existem atividades agropecuárias, as quais coexistem com áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana (Figura 5). A Figura 6 mostra a existência de conflitos entre áreas de preservação permanente e a legislação vigente. Nesta localidade foi possível observar a ocorrência de atividades agrícolas, como por exemplo, o cultivo de fumo e milho, a poucos metros das margens desta nascente.

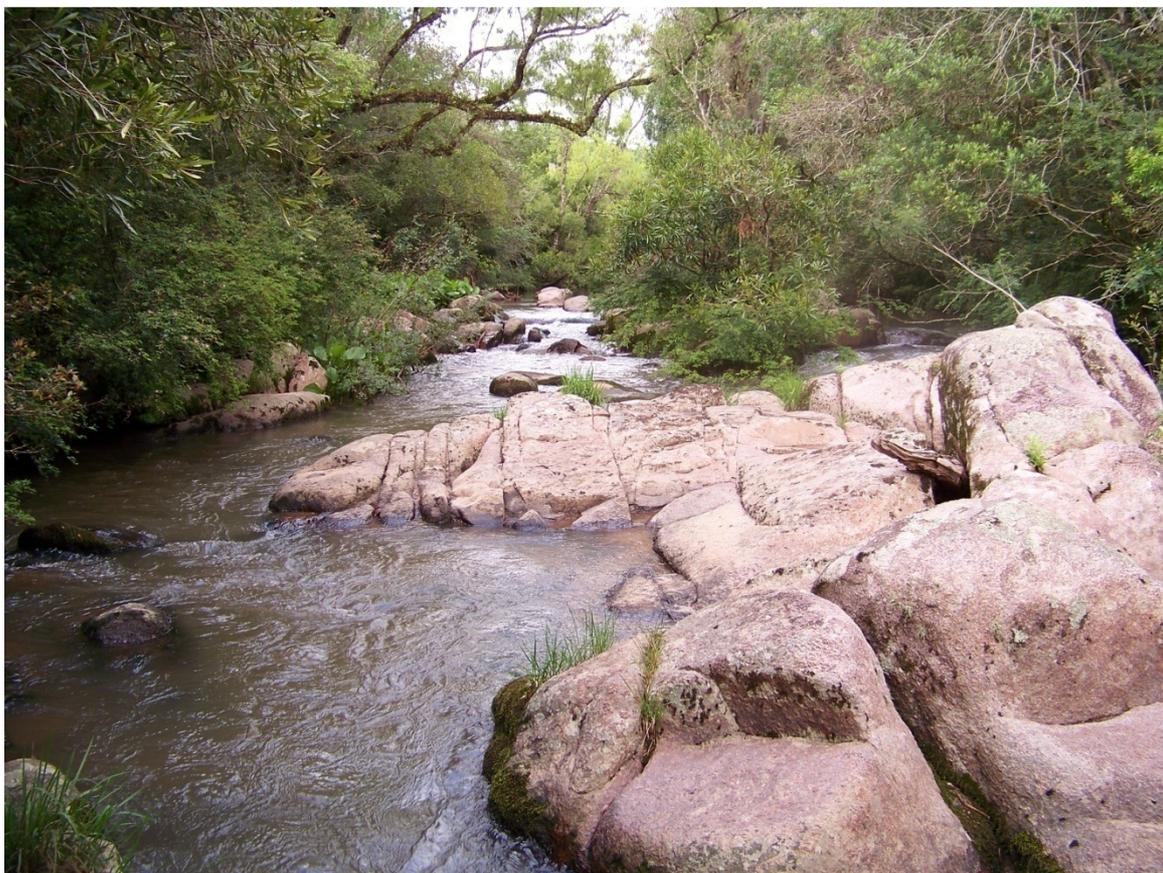


Figura 9 – Túnel de Pedra, no município de Pelotas na colônia Maciel (ponto 2 de amostragem).

O ponto de coleta 2 localiza-se no interior do município de Pelotas, na colônia Maciel. Esta região é classificada por MEGGIATO e KOESTER (2009) como região onde existem atividades agropecuárias, as quais coexistem com áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana (Figura 5). A Figura 6 explicita o desacordo entre áreas de preservação permanente e atividades humanas. Nestas imediações existem atividades agrícolas, as quais não foram observadas às margens do ponto de coleta. A localidade onde este ponto se encontra é utilizada para o desenvolvimento de atividades turísticas, voltadas ao turismo ecológico.



Figura 10 - Prainha do Bachini, no município de Pelotas na colônia Monte Bonito (ponto 3 de amostragem).

O ponto de coleta 3 localiza-se no interior do município de Pelotas, na colônia Monte Bonito. Esta região é classificada por MEGGIATO e KOESTER (2009) como região onde existem atividades agropecuárias, as quais coexistem com áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana (Figura 5). A Figura 6 explicita o desacordo entre áreas de preservação permanente e atividades humanas. Nestas imediações existem atividades agrícolas e pecuárias, as quais foram observadas às margens do ponto de coleta, pequenas plantações e a criação de animais. A localidade onde este ponto se encontra é utilizada para o desenvolvimento de atividades turísticas, voltadas à recreação, sendo utilizada por banhistas.



Figura 11 - Extração de areia Silveira, próxima a ETA Sinotti no município de Pelotas, na colônia Monte Bonito (ponto 4 de amostragem).

O ponto de coleta 4 localiza-se no interior do município de Pelotas, na colônia Monte Bonito. Esta região é classificada por MEGGIATO e KOESTER (2009) como região onde existem atividades agropecuárias, as quais coexistem com áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, bem como com áreas de Reflorestamento (Figura 5). A Figura 6 explicita o desacordo entre áreas de preservação permanente e atividades humanas. Nestas imediações foram observadas áreas de pecuária, sendo perceptível criação de animais na região, bem com o desenvolvimento de silvicultura. Nas imediações do ponto de coleta há a extração de areia por parte de uma empresa local.



Figura 12 - Ponte do Retiro, no município de Pelotas próximo a Polícia Rodoviária Federal na BR-116 (ponto 5 de amostragem).

O ponto de coleta 5 localiza-se no interior do município de Pelotas, próximo ao posto da polícia Rodoviária Federal na BR-116. Esta região é classificada por MEGGIATO e KOESTER (2009) como região onde existem atividades agropecuárias, áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, áreas de Reflorestamento, áreas de Floresta Estacional Aluvial e áreas de Agricultura de Culturas Cíclicas (Figura 5). A Figura 6 explicita o desacordo entre áreas de preservação permanente e atividades humanas. Nestas imediações existem atividades agrícolas, como por exemplo, a silvicultura e a plantação de soja e arroz, as quais não foram observadas às margens do ponto de coleta. A localidade onde este ponto se encontra é utilizada para o desenvolvimento de atividades turísticas, voltadas à recreação, sendo utilizada por banhistas e para a pesca amadora.



Figura 13 - Fazenda da Graça, no município de Pelotas, bairro Posto Branco no distrito sede (ponto 6 de amostragem).

O ponto de coleta 6 localiza-se no interior do município de Pelotas, na fazenda da Graça, no bairro Posto Branco. Esta região é classificada por MEGGIATO e KOESTER (2009) como região onde existem atividades áreas de Reflorestamento, áreas de Floresta Estacional Aluvial e áreas de Agricultura de Culturas Cíclicas e Urbanização (Figura 5). A Figura 6 explicita demonstra que a distância das áreas de cultivo e silvicultura encontra-se em desacordo com a legislação ambiental vigente. Nestas imediações existem atividades agrícolas, como por exemplo, a silvicultura e a plantação de soja e arroz, as quais não foram observadas às margens do ponto de coleta. A localidade onde este ponto se encontra é utilizada estritamente para a criação de animais e para o plantio de gêneros agrícolas cíclicos, o ponto de coleta está situado às margens de um canal artificial construído para irrigação de arroz cultivado na Fazenda da Graça.



Figura 14 - Ponte da Galatéia, no município de Pelotas entre a colônia de pescadores Z-3 e o bairro Areal (ponto 7 de amostragem).

O ponto de coleta 7 localiza-se no interior do município de Pelotas, entre os bairros Areal e a colônia Z-3. Esta região é classificada por MEGGIATO e KOESTER (2009) como região onde existem áreas de Reflorestamento, áreas de Floresta Estacional Aluvial e áreas de Agricultura de Culturas Cíclicas (Figura 5). A Figura 6 explicita ocorrência de áreas de conflito entre a legislação vigente e as atividades humanas nesta localidade, quando comparado aos pontos 1, 2, 3 e 4. Nestas imediações existem atividades agrícolas, como por exemplo, a silvicultura e a plantação de soja e arroz e a criação de animais as quais foram observadas às margens do ponto de coleta. A localidade onde este ponto se encontra é utilizada para o desenvolvimento de atividades voltadas à recreação, sendo utilizada por banhistas e para a pesca amadora.



Figura 15 - Ponte do Laranjal, no município de Pelotas, distrito sede (ponto 8 de amostragem).

O ponto de coleta 8 localiza-se distrito sede de Pelotas, na ponte do Laranjal, a qual serve como via de acesso entre bairro Laranjal e o centro da cidade de Pelotas. Esta região é classificada por MEGGIATO e KOESTER (2009) como região onde existem atividades agropecuárias, áreas de Agricultura de Culturas Cíclicas e Urbanização (Figura 5). A Figura 6 explicita o desacordo entre áreas de preservação permanente e atividades humanas. Nestas imediações existem atividades agrícolas, como por exemplo, a plantação de soja e arroz, as quais não foram observadas às margens do ponto de coleta. Entretanto, foi possível observar nesta área a ocorrência de núcleos habitacionais diversos, bem como a existência de um engenho de arroz. A localidade onde este ponto se encontra ainda é utilizada para o desenvolvimento de atividades voltadas à recreação, sendo utilizada por banhistas e para a pesca amadora, bem como para a navegação.



Figura 16 - Chácara da Brigada, no município de Pelotas no distrito sede (ponto 9 de amostragem).

O ponto de coleta 9 localiza-se no distrito sede de Pelotas, na foz do Arroio Pelotas, que deságua no Canal São Gonçalo. Esta região é classificada por MEGGIATO e KOESTER (2009) como região onde existem áreas de urbanização, bem como a ocorrência de campos alagadiços (Figura 5). A Figura 6 explicita o desacordo entre áreas de preservação permanente e atividades humanas. Nestas imediações existe a criação de animais, que foram observadas às margens do ponto de coleta. A localidade onde este ponto se encontra é utilizada para o desenvolvimento de atividades à recreação, sendo utilizada por banhistas e para a pesca amadora.

## 4.2 Amostragem

O período de amostragem foi distribuído com base nas estações do ano, correspondentes aos dias 04/05/2009 e 01/06/2009, para as coletas de Outono; 20/07/2009 e 17/08/2009, para as coletas de Inverno; 19/10/2009 e 23/11/2009, para as coletas de Primavera e os dias 25/01/2010 e 22/02/2010 para as coletas de Verão. A Tabela 4 mostra o cronograma e os locais de amostragem.

Tabela 4 - Cronograma de amostragem com divisão sazonal e natureza da coleta.

Data	Ponto	Natureza da coleta	Estação
04/05/2009	1, 2,3 e 4	Cromatografia lônica	Outono 2009
1/06/2009	5, 6, 7, 8 e 9	Cromatografia lônica	
20/07/2009	1,2,3 e 4	Cromatografia lônica	Inverno 2009
17/08/2009	5, 6, 7, 8 e 9	Cromatografia lônica	
19/10/2009	1,2,3 e 4	Cromatografia lônica	Primavera 2009
23/11/2009	5, 6, 7, 8 e 9	Cromatografia lônica	
25/01/2010	1,2,3 e 4	Cromatografia lônica	Verão 2010
22/02/2010	5, 6, 7, 8 e 9	Cromatografia lônica	

## 4.3 Material de amostragem

O material de amostragem corresponde à água superficial do curso principal da BHAP. Foi levada em consideração também a divisão da BHAP em três distintas unidades paisagísticas: unidade I, correspondente à porção da BHAP localizada na ESRG, onde são desenvolvidas atividades agropecuárias e tem por característica a existência de propriedades familiares – pontos 1, 2, 3 e 4 (Figura 7); unidade II, correspondente a porção da BHAP, situada na Planície Costeira, em uma região onde existem atividades agropecuárias, e onde predominam propriedades de médio

e grande porte (acima de 1 módulo fiscal<sup>4</sup>) – pontos 5, 6 e 7 (Figura 7); e Unidade III, situada na Planície Costeira, esta região é utilizada para a urbanização dentro dos limites da BHAP, onde existem ocupações diversas, tais como condomínios destinados as classes média alta e alta, ocupação de posseiros e ainda a ocorrência de um engenho de arroz – pontos 8 e 9 (Figura 7).

## **4.4 Métodos**

### **4.4.1 Métodos de coleta**

A coleta da água foi realizada manualmente, nos pontos selecionados para a amostragem nos períodos citado acima. As coletas foram realizadas em média a 20 cm da superfície da água. As coletas para a cromatografia iônica foram realizadas a cada quatro semanas dentro das estações conforme demonstrado na Tabela 4.

Após a coleta, as amostras foram armazenadas em recipiente isolante térmico e encaminhadas em menos de 4 horas para o Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG.

### **4.4.2 Preparação dos frascos coletores e dos materiais de laboratório**

Para coleta, foram utilizados frascos de Polietileno lavados com detergente ionicamente neutro Extran<sup>®</sup>. Para cada ponto foi coletado 1 Litro de água. Os funis e os frascos coletores foram lavados com detergente Extran<sup>®</sup> MA 3 (Merck), isento de fosfato, e enxaguados exaustivamente com água destilada e deionizada. O material de estocagem das amostras e a vidraria utilizada seguiram os mesmos cuidados de limpeza. Para garantir a integridade das amostras, realizaram-se medidas de condutividade e de cromatografia na água de lavagem do funil.

### **4.4.3 Filtragem e acidificação das amostras**

Após o transporte das amostras para o laboratório de Análises Gerais do LOG<sup>5</sup>, foram medidos pH e condutividade nas amostras de Primavera e Verão, sem haver filtragem. Depois dessas medidas uma porção de 100 mL foi submetida à filtração a vácuo, com filtro de éster de celulose (0,45µm de poro) e, separado em

---

<sup>4</sup> O módulo fiscal na região de Pelotas é de 16,0 hectares.

<sup>5</sup> Laboratório de Oceanografia Geológica, Universidade Federal do Rio Grande - FURG

duas novas alíquotas, uma para cátions e outra para ânions.

A porção retirada para a análise de cátions foi acidificada com ácido nítrico, até pH aproximadamente 4,0, para evitar a volatilização de íons como amônio e conservar as demais espécies. As amostras foram estocadas em frascos de polietileno e refrigeradas para posterior análise cromatográfica. O procedimento de preparação das amostras está exposto na figura 17.

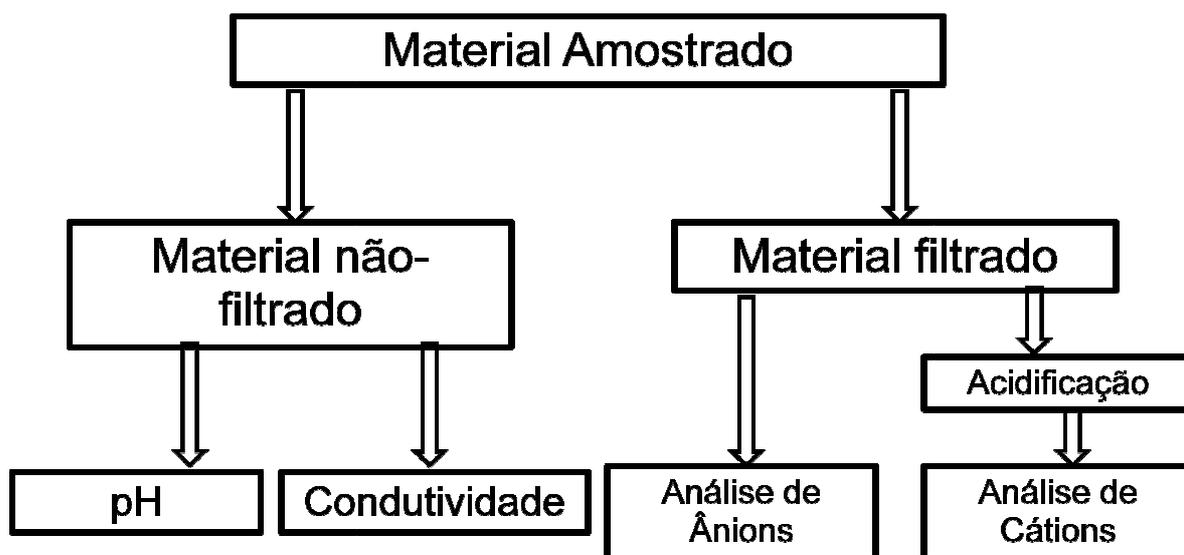


Figura 17 - Descrição dos procedimentos de preparação e análise das amostras.

## 4.5 Técnicas analíticas

### 4.5.1 pH e condutividade

As medições de pH e de Condutividade se deram de duas maneiras diferenciadas. Na amostragem de Outono e Inverno após as coletas foram medidos pH, com a utilização do phmetro WTW® 315i/set e do condutímetro Oakton® *Acorn series* con5 diretamente no campo. As demais amostras tiveram pH e condutividade medidas no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG) da FURG com a utilização de pHmetro e condutímetro digital da marca Oakton®. Em todas as amostras houve uma espera de no mínimo 5 minutos para a medida do pH para a estabilização da leitura. Ambos os equipamentos foram calibrados com soluções tampão 4 e 7 a temperatura de 25°C.

#### 4.5.2 Cromatografia iônica

A concentração das principais espécies iônicas foi determinada através do método de cromatografia iônica líquida por detecção de condutividade, utilizando equipamento Metrohn®. Os íons analisados foram os ânions nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e fluoreto ( $\text{F}^-$ ); e os cátions amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

As condições analíticas para determinação de cátions foram coluna Metrosep C2-100 (4,0x100 mm) de sílica gel, como fase móvel foi utilizada solução eluente de 4 mmol L<sup>-1</sup> de ácido tartárico e 0,75 mmol L<sup>-1</sup> de ácido dipicolínico. O volume injetado foi de 100 µL com fluxo médio de 1,0 mL min<sup>-1</sup>. O tempo de retenção para  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foi de 3,44, 3,85, 5,32, 8,47 e 11,78 minutos, respectivamente.

Para ânions foi utilizada coluna simples Metrosep A Supp 5-100 (4,0x100 mm) de álcool polivinil com supressão química. Como fase móvel foi utilizada solução eluente de 1,7 mM de  $\text{NaHCO}_3$  e de 18 mM de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . O volume injetado foi de 100 µL, com fluxo médio de 0,66 mL min<sup>-1</sup>. O tempo de retenção para os íons  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  foi 2,54, 3,85, 6,77, 8,30 e 9,71 minutos, respectivamente. As concentrações foram determinadas por meio de curva de calibração na faixa de 0,1 a 10 ppm para cátions e de 0,01 a 10 ppm para ânions.

#### 4.5.3 Coeficiente de correlação de Pearson

O coeficiente de correlação Pearson mede o grau de correlação entre duas variáveis lineares, onde se têm 1 para positiva perfeita, -1 para negativa perfeita e 0 para a inexistência de correlação, ou seja, que as variáveis não dependem linearmente uma da outra. Considera-se como uma correlação forte valores acima de 0,7 (positivo ou negativo), entre 0,3 e 0,7 (negativo ou positivo) para correlação média e abaixo de 0,3 (positivo ou negativo) para correlação baixa. O coeficiente de correlação é definido pela seguinte equação:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}}$$

O cálculo do coeficiente de correlação foi realizado com a utilização do *software Excel* na versão do *microsoft office 2007*. Este cálculo depende da qualidade dos dados utilizados.

#### 4.5.4 Média aritmética simples e desvio padrão

O cálculo da média aritmética simples corresponde a um valor médio obtido a partir da divisão de uma soma pelo número de observações realizadas, para indicar o grau de discrepância ou de homogeneidade dos dados, foi utilizado também o cálculo de desvio padrão. Abaixo observa-se a representação do cálculo da média, que é representada por  $\bar{x}$ . Esse cálculo é definido pela equação:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

No presente estudo sua utilização é necessária para se obter uma comparação verossímil entre as médias pluviométricas mensais (tabela 2 e figura 4) e o valor médio para os teores dos íons quantificados. Sendo importante observar que os dados pluviométricos são referentes a toda BHAP, não havendo diferenciação entre a quantidade de chuva de um ponto para outro. Dessa forma, o cálculo da média aritmética dos teores íons quantificados, bem como a média da precipitação nos meses de coleta mostra-se necessário para estabelecer um coeficiente de correlação mais próximo da realidade.

## 5. Resultados e discussões

### 5.1 Quantificação dos íons

#### 5.1.1 Ânions

##### 5.1.1.1 Fluoreto

O comportamento do íon fluoreto no período analisado apresenta um padrão irregular, sendo possível observar na Figura 18 e na Tabela 5 uma tendência a redução em sua concentração nas coletas que correspondem às realizadas da metade de outono até o final das coletas de inverno, onde a concentração deste íon volta a apresentar aumento em sua concentração. A maior concentração observada foi no ponto 1 na coleta de primavera, seguida pelos valores encontrados nas amostras dos pontos 1 e 3 nas coletas de primavera, e nos pontos 6,7 e 8 nas coletas de verão.

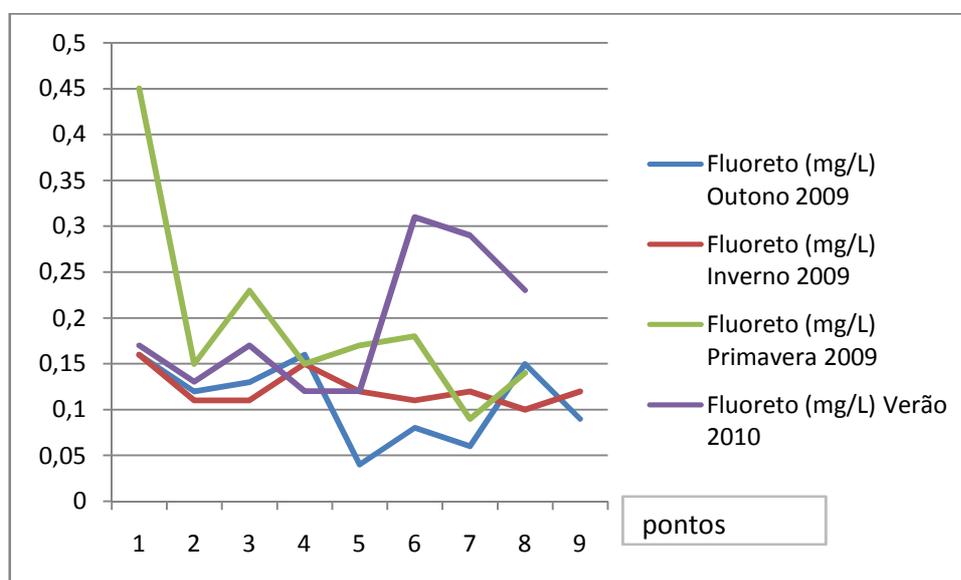


Figura 18 – Resultados do íon fluoreto nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 5 - Apresentação dos valores do íon fluoreto detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Fluoreto (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	0,16	0,16	0,45	0,17
2	0,12	0,11	0,15	0,13
3	0,13	0,11	0,23	0,17
4	0,16	0,15	0,15	0,12
5	0,04	0,12	0,17	0,12
6	0,08	0,11	0,18	0,31
7	0,06	0,12	0,09	0,29
8	0,15	0,10	0,14	0,23
9	0,09	0,12	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

#### 5.1.1.2 Cloreto

O íon cloreto apresentou um comportamento irregular (Figura 19 e Tabela 6), visto que apresentou aumento em sua concentração conforme o ponto de coleta se aproxima da foz. Os valores mais altos quantificados encontram-se sempre localizados nos pontos 8 e 9, na coleta de outono, vindo a ter diminuindo sua concentração nas amostras coletadas no inverno e primavera.

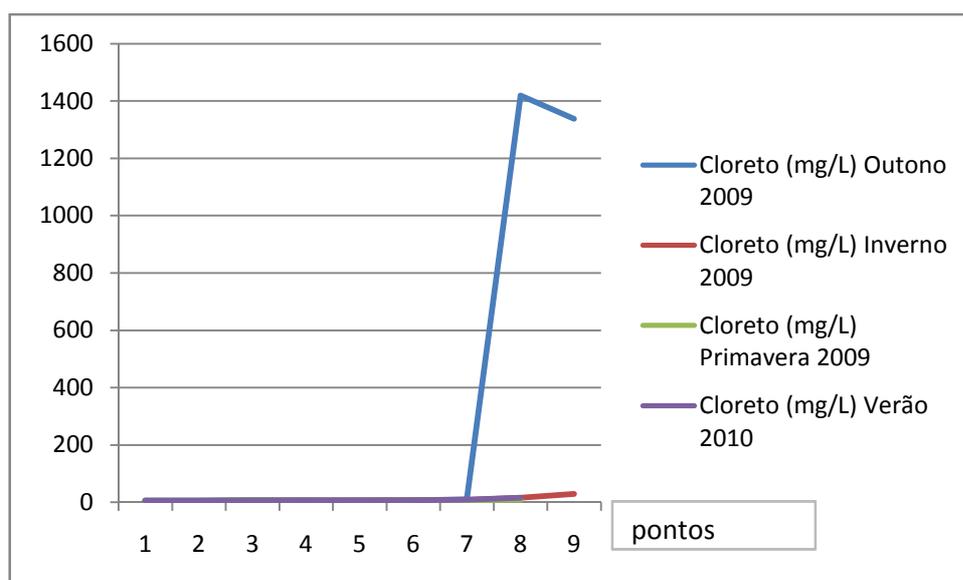


Figura 19 - Resultados do íon cloreto nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 6 - Apresentação dos valores do íon cloreto detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Cloreto (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	5,75	4,59	5,76	6,01
2	6,16	5,05	6,05	6,17
3	7,96	5,62	6,80	6,36
4	7,56	5,86	6,58	7,10
5	4,06	6,47	6,48	6,89
6	7,69	7,57	6,34	7,52
7	10,89	8,00	7,16	8,89
8	1418,75	15,93	9,24	16,09
9	1336,96	29,14	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

### 5.1.1.3 Nitrito

O íon nitrito foi detectado somente no ponto 1 na coleta de primavera, onde conforme o tabela 7 e a Figura 20, fica explícita a concentração de 0,11 mg/L.

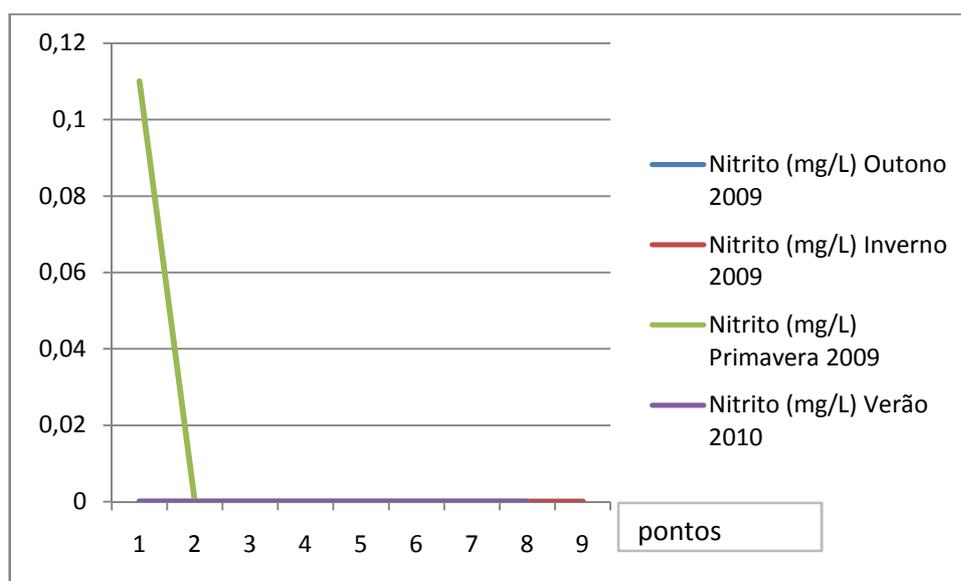


Figura 20 - Resultados do íon nitrito nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 7 - Apresentação dos valores do íon nitrito detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Nitrito (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	0,00	0,00	0,11	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	n.d.	n.d.

#### 5.1.1.4 Nitrato

O íon nitrato apresentou comportamento irregular, com tendência a aumentar sua concentração nas coletas realizadas no verão de 2010. A tabela 8 expressa as quantidades detectadas deste íon, enquanto que a Figura 21 demonstra a variabilidade de acordo com a estação. Nas coletas realizadas no Outono e no Inverno de 2009, percebe-se que os pontos mais próximos da nascente e da foz apresentam maior concentração de nitrato que os pontos localizados no intervalo que vai do ponto 3 ao ponto 7, com exceção do ponto 9 na coleta de inverno, onde este apresentou um valor inferior aos quantificados neste período. Na amostragem de primavera foi possível observar que a concentração de nitrato apresenta valores decrescentes no sentido da nascente com direção a foz. A amostragem de verão apresenta um padrão diferente dos demais, pois nesta quantificação se observa o aumento na concentração de nitrato conforme o ponto se aproxima da foz do Arroio Pelotas.

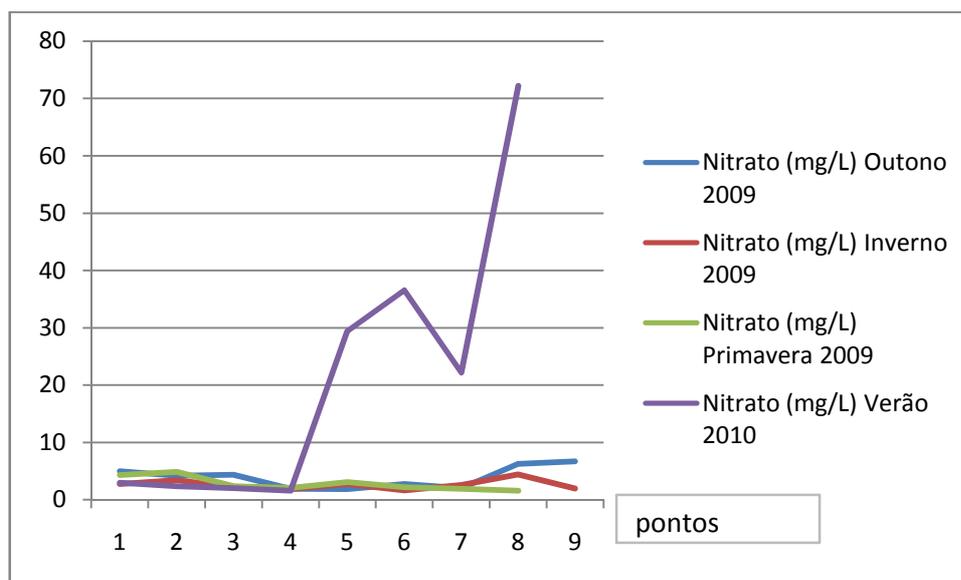


Figura 21 - Resultados do íon nitrato nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 8 - Apresentação dos valores do íon nitrato detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Nitrato (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	4,96	2,72	4,29	3,00
2	4,16	3,41	4,84	2,39
3	4,33	2,19	2,39	2,03
4	1,88	1,85	2,07	1,605
5	1,83	2,77	3,07	29,43
6	2,70	1,62	2,23	36,53
7	1,97	2,56	1,92	22,19
8	6,26	4,44	1,60	72,16
9	6,70	1,96	n.d.	n.d.

#### 5.1.1.5 Sulfato

As concentrações de sulfato apresentaram variações em cada uma das estações (Figura 22 e na Tabela 9). Na amostragem de Outono foi possível observar que as amostras apresentaram níveis relativamente estáveis na concentração deste íon nos pontos de 1 à 7, visto que a quantidade deste íon apresentou um aumento drástico nos pontos 8 e 9. Nas coletas de Inverno foi possível observar que a tendência geral do íon Sulfato foi de aumentar sua concentração no sentido nascente-foz. Nas coletas de Primavera apresenta variabilidade na concentração iônica com tendência a diminuição em sua concentração conforme se aproxima dos pontos medianos (pontos 5, 6 e 7), a partir de onde os níveis de sulfato apresentam aumento em sua concentração. Nas coletas de Verão se observou um comportamento semelhante ao da amostragem de Primavera, visto que no geral houve diminuição na quantidade de Sulfato, com exceção do ponto 8, onde a concentração apresentou valores superiores aos registrados na amostragem de primavera e que corresponde ao valor máximo das amostras de Verão.

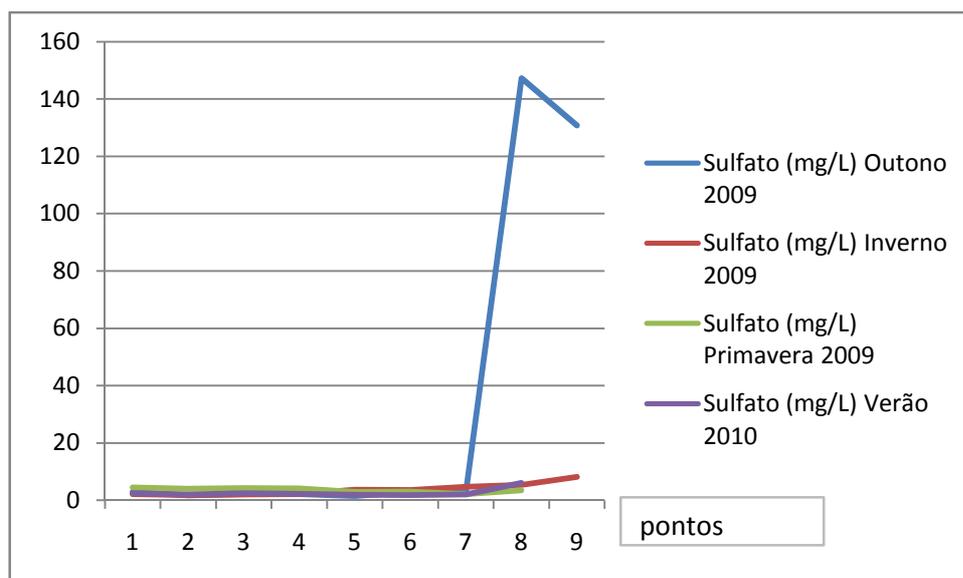


Figura 22 - Resultados do íon sulfato nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 9 - Apresentação dos valores do íon sulfato detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Sulfato (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	2,99	2,19	4,46	2,516
2	1,71	1,85	4,00	2,017
3	2,24	2,07	4,26	2,463
4	2,14	2,20	4,18	2,304
5	1,52	3,73	2,94	1,984
6	2,99	3,59	3,09	1,849
7	2,71	4,74	2,19	2,077
8	147,25	5,38	3,53	6,087
9	130,82	8,22	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

### 5.1.1.6 Fosfato

O íon Fosfato foi detectado somente na nascente do Arroio Pelotas, no ponto 1 da coleta de Primavera (Figura 23 e Tabela 10).

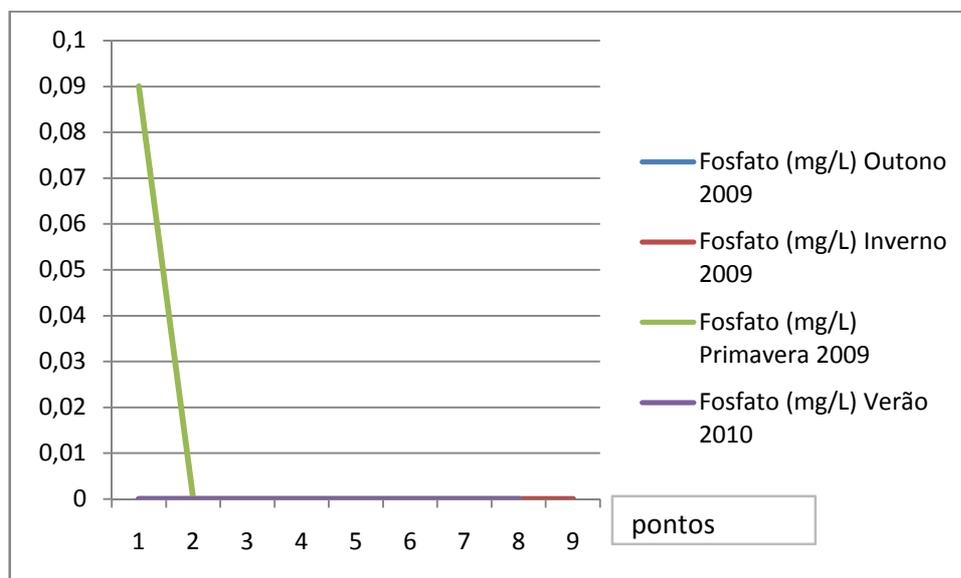


Figura 23 - Resultados do íon fosfato nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 10 - Apresentação dos valores do íon fosfato detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Fosfato (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	0,00	0,00	0,09	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

## 5.1.2 Cátions

### 5.1.2.1 Amônio

O íon Amônio foi detectado na amostragem de Outono nos pontos que vão de 1 a 5, onde foi possível perceber o aumento da concentração deste íon. Entretanto este íon não foi quantificado nos pontos 6, 7, 8, e 9 nesta estação, bem como não foi detectado em todas as amostras durante a amostragem de Inverno e nos pontos 1 e 2 das coletas de Primavera. Entretanto, a partir do ponto 3 na amostragem de Primavera este íon foi detectado, onde este apresentou aumento em sua concentração conforme a proximidade da foz aumentou, entretanto nos pontos 5 e 6 não houve detecção de Amônio. Nas coletas de Verão foi possível quantificar este íon em todos os pontos, visto que as quantidades aumentam do ponto 1 até o ponto 3, a partir de onde se observa uma redução na quantidade de Amônio, o qual volta a apresentar aumento em sua concentração a partir do ponto 7, culminando em seu pico nesta estação no ponto 8 (Figura 24 e Tabela 11).

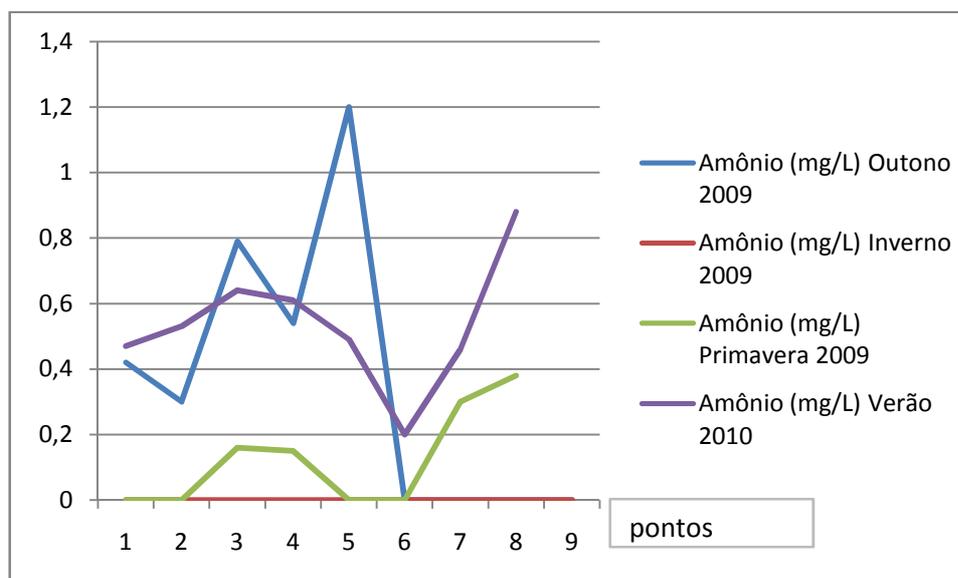


Figura 24 - Resultados do íon amônio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 11 - Apresentação dos valores do íon amônio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Amônio (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	0,42	0,00	0,00	0,47
2	0,30	0,00	0,00	0,53
3	0,79	0,00	0,16	0,64
4	0,54	0,00	0,15	0,61
5	1,20	0,00	0,00	0,49
6	0,00	0,00	0,00	0,20
7	0,00	0,00	0,30	0,46
8	0,00	0,00	0,38	0,88
9	0,00	0,00	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

#### 5.1.2.2 Sódio

Na amostragem de Outono o íon Sódio aumentou sua concentração conforme o ponto de coleta se afasta da nascente e aproxima da foz. As quantificações realizadas nos pontos 8 e 9, onde os valores detectados demonstraram uma concentração de Sódio anômala quando se compara com os demais pontos. Nas coletas de Inverno, primavera e verão foi possível observar um comportamento semelhante ao da amostragem de Outono. Entretanto, cabe destacar que mesmo que este padrão tenha se mantido, a amplitude entre a menor concentração de Sódio e a maior é substancialmente reduzida quando se compara com a amplitude entre a maior e a menor quantificação na amostragem de Outono (Figura 25 e Tabela 12).

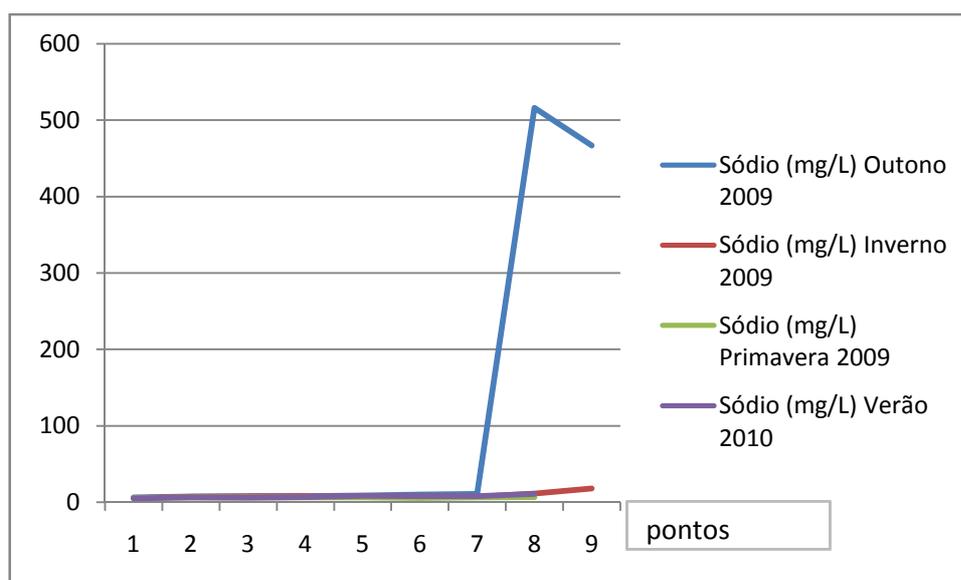


Figura 25 - Resultados do íon sódio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 12 - Apresentação dos valores do íon sódio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Sódio (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	6,60	5,43	5,63	5,09
2	7,88	7,17	6,15	6,30
3	8,43	7,63	6,57	5,86
4	8,13	8,17	6,37	6,54
5	9,05	6,92	6,24	8,26
6	10,32	7,36	5,40	7,85
7	11,33	7,18	6,54	7,98
8	515,77	11,38	6,89	10,86
9	466,33	18,27	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

### 5.1.2.3 Potássio

Na amostragem de Outono o íon Potássio apresentou um aumento em sua concentração conforme o ponto de coleta se aproximava da foz, houve uma ligeira redução em seus teores nos pontos 3, 6 e 7, e acréscimo em sua concentração nos pontos 8 e 9. Nas coletas de Inverno e Primavera o comportamento da concentração

deste íon se deu de forma semelhante ao observado no Outono, observado que a diferença entre os maiores e os menores valores se apresentou com menor variação. Na amostragem de Verão a concentração deste íon se apresentou pouca variação, havendo amplitude ainda menor entre os valores mais baixos e os mais altos detectados nas estações anteriores (Figura 26 e Tabela 13).

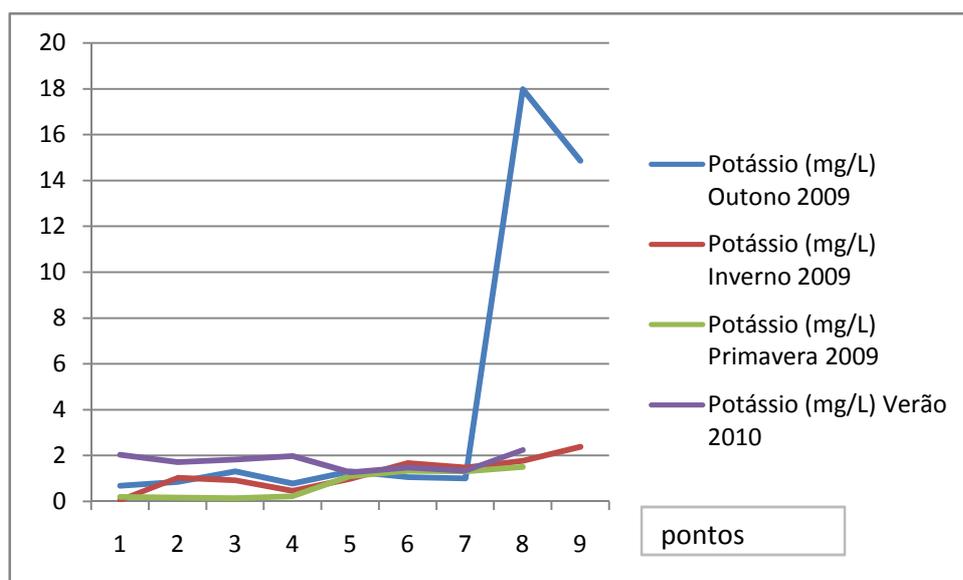


Figura 26 - Resultados do íon potássio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 13 - Apresentação dos valores do íon potássio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Potássio (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	0,69	0,06	0,20	2,03
2	0,86	1,04	0,18	1,71
3	1,31	0,92	0,15	1,83
4	0,79	0,46	0,24	1,97
5	1,31	1,00	1,11	1,27
6	1,06	1,68	1,35	1,48
7	1,01	1,48	1,32	1,34
8	17,98	1,77	1,51	2,24
9	14,86	2,39	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

#### 5.1.2.4 Magnésio

A quantificação do íon magnésio na coleta de Outono apresenta aumento em seus teores no sentido nascente-foz. Nos pontos 8 e 9 a concentração deste íon apresentou seus maiores valores. Na amostragem de Inverno e Primavera, este íon seguiu um padrão de concentração semelhante ao detectado na amostragem de Outono, observado que a variação entre os menores e os maiores valores ocorreu de forma diferente, pois a diferença entre estes valores é menor do que na coleta de Outono. Na amostragem de verão o íon Magnésio apresentou pouca amplitude entre os valores mais altos e os mais baixos quantificados (Figura 27 e Tabela 14).

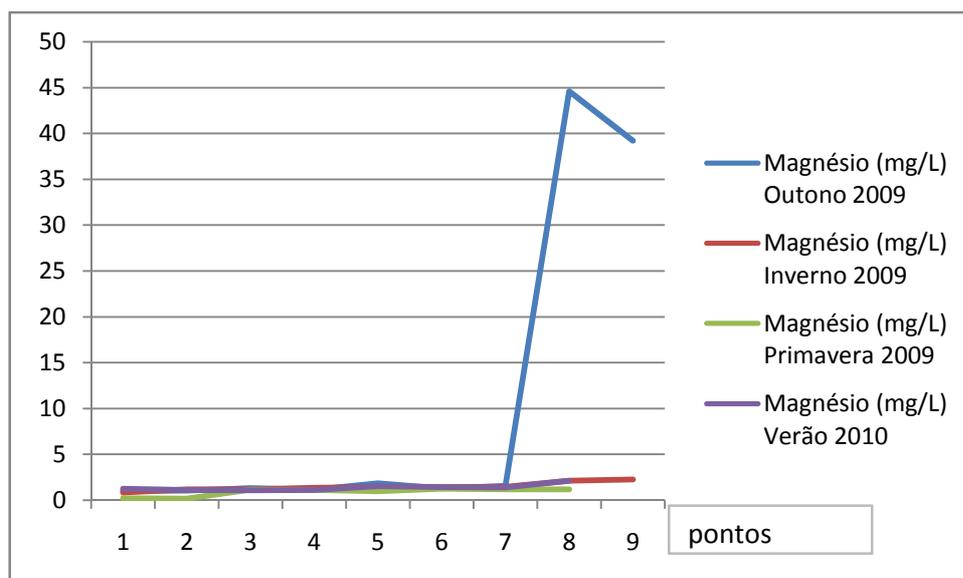


Figura 27 - Resultados do íon magnésio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 14 - Apresentação dos valores do íon magnésio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Magnésio (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	1,03	0,86	0,23	1,27
2	1,05	1,22	0,20	1,11
3	1,36	1,20	1,17	1,09
4	1,18	1,37	1,13	1,13
5	1,85	1,47	1,00	1,53
6	1,32	1,47	1,28	1,45
7	1,60	1,49	1,22	1,39
8	44,60	2,14	1,22	2,13
9	39,20	2,29	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

### 5.1.2.5 Cálcio

Os teores de cálcio na amostragem de outono demonstram aumento de sua quantidade nos pontos 2, 3, 4, 8 e 9, visto que as concentrações observadas nos pontos 8 e 9 apresentam valores mais altos do que nos demais pontos. Nas amostras de inverno foi observado que nos pontos 2, 3 e 4 o cálcio apresentou valores superiores aos detectados nos demais pontos. Essa amostragem difere do padrão apresentado pela quantificação das coletas de outono, pois por conta dos pontos 8 e 9, onde a concentração deste íon foi inferior às quantidades detectadas nos pontos 2, 3 e 4. A amostragem de primavera demonstrou quantidades de cálcio com menor amplitude entre os valores mais altos e mais baixos detectados, observado que o valor mais alto encontrado corresponde ao ponto 7 e o mais baixo ao ponto 1. Nas coletas de Verão foi possível observar um comportamento onde houve o aumento do teor de cálcio no sentido nascente-foz, e que no ponto 1 este íon não foi detectado (Figura 28 e Tabela 15).

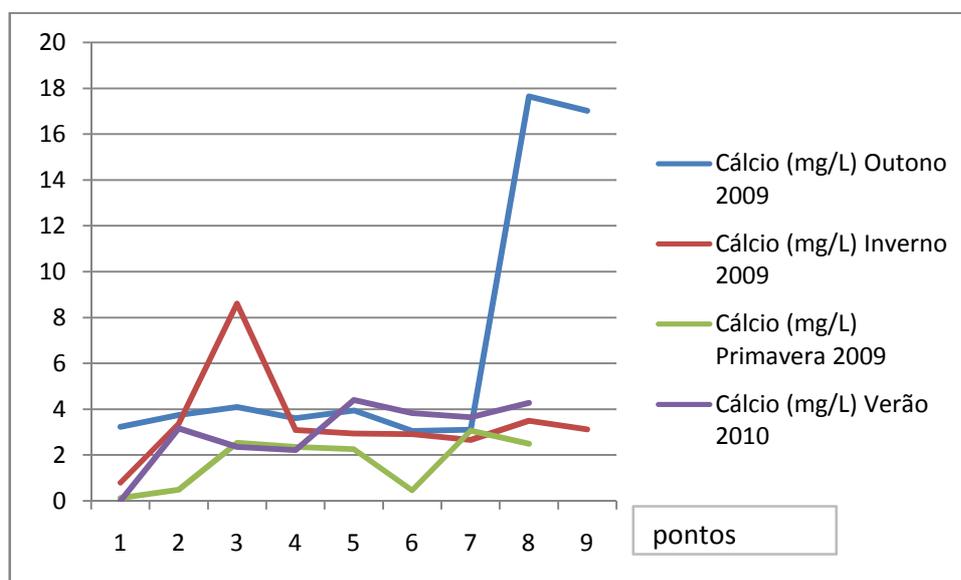


Figura 28 - Resultados do íon cálcio nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Tabela 15 - Apresentação dos valores do íon cálcio detectado em cada um dos pontos no período de outono de 2009 até o verão de 2010 nas águas superficiais do Arroio Pelotas, Pelotas, RS.

Ponto/estação	Cálcio (mg/L)			
	Outono 2009	Inverno 2009	Primavera 2009	Verão 2010
1	3,23	0,80	0,13	0,00
2	3,75	3,38	0,49	3,16
3	4,09	8,61	2,53	2,35
4	3,61	3,10	2,35	2,22
5	3,94	2,95	2,26	4,40
6	3,05	2,92	0,46	3,83
7	3,11	2,67	3,06	3,65
8	17,64	3,50	2,49	4,27
9	17,01	3,12	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

## 5.2 pH e condutividade

Os parâmetros pH e condutividade elétrica foram medidos em campo na amostragem de Outono e Inverno, onde estas quantificações apresentaram dois distintos comportamentos. Enquanto as variações no pH apresentaram tendência a serem relativamente estáveis, onde a medida mais baixa quantificada foi de 6,8 e a mais alta de 8,1 indicando uma diferença de 1,3 entre esses dois pontos, a variação da condutividade apresentou uma amplitude superior, sendo o valor mais baixo detectado de 19,4  $\mu\text{S}$  e o valor mais alto de 3210  $\mu\text{S}$ , indicando uma variação de 3190,6  $\mu\text{S}$  entre essas duas medidas. Observando a tabela 16 se percebe que nas coletas de Outono a condutividade elétrica apresentou maiores valores, ao ponto que no restante das coletas, os valores registrados estavam abaixo do quantificado no Outono.

Tabela 16 - Apresentação dos valores das medições de pH e condutividade elétrica em cada um dos pontos no período de outono de 2009 ao verão de 2010.

Ponto/estação	Outono 2009		Inverno 2009		Primavera 2009		Verão 2010	
	pH	Cond. (µS)	pH	Cond. (µS)	pH	Cond. (µS)	pH	Cond. (µS)
1	7	71	7,1	56,6	7,1	53,2	7	20,7
2	7,3	63,5	7,6	68,3	7,4	61,1	7,3	19,4
3	7,2	64,5	7,3	69,4	7,2	63,7	7,1	23,8
4	7,6	78,2	7,3	73,4	7,3	64,1	7,2	30,1
5	7,1	413,1	7,4	76	7	60,2	7,4	19,6
6	7,1	293,5	7,3	74,2	7,2	60,5	7,1	19,4
7	7,2	223,2	7,2	75,7	7,1	66,2	7,3	20,1
8	7,3	3210	7,7	78,1	6,8	85,8	7,8	21,9
9	8,1	2800	7,7	79,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. – não detectado

### 5.3 Coeficiente de Correlação

O coeficiente de correlação de Pearson (item 4.5.3) serve para mensurar a correlação entre duas variáveis. Neste item estão expressos os valores obtidos para os coeficientes correlacionais entre: a variação dos índices pluviométricos (Figura 4 e tabela 2) – observando que a tabela 17 expressa o cálculo das médias aritméticas simples nos teores dos cátions e ânions analisados, bem como as médias pluviométricas entre os meses em que foram realizadas as coletas - e a variação da concentração dos íons quantificados (item 5.1); a variação do pH (item 5.2) e a variação dos íons analisados; e por fim, a variação da condutividade elétrica (item 5.2) e a variação na concentração dos íons analisados. Desta forma, observa-se na Tabela 18 a expressão numérica destas correlações no período de outono de 2009 até o verão de 2010.

Tabela 17 – Médias aritméticas e desvio padrão dos íons quantificados e precipitação média na BHAP.

#### Médias

Estação	Pluviometria (mm/dia)	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Outono	1,40	0,11	311,75	0,00	3,87	32,71	0,00	0,36	115,98	4,43	10,35	6,60
Inverno	2,15	0,12	9,80	0,00	2,61	3,77	0,00	0,00	8,83	1,20	1,50	3,45
Primavera	6,00	0,20	6,80	0,01	2,80	3,58	0,01	0,12	6,22	0,76	0,93	1,72
Verão	9,40	0,19	8,13	0,00	21,17	2,66	0,00	0,54	7,34	1,73	1,39	2,99

Nos valores expressos na correlação dos índices pluviométricos com os teores dos cátions e ânions quantificados, é possível perceber que a partir da correlação de Pearson, que a relação dos teores de nitrito e de fosfato com a quantidade de chuva apresentaram correlação fraca e negativa (valores situados entre -0,3 e 0). Estes valores que indicam fraca correlação negativa entre as chuvas e os teores dos íons acima citados, demonstram que essas variáveis apresentam oscilações que tendem a ser independentes da variação da precipitação na BHAP.

Tabela 18 - Apresentação dos valores do cálculo de correlação de Pearson entre os parâmetros: íon, índices pluviométricos, pH e condutividade.

Íon	Correlação índice pluviométrico	Correlação Ph	Correlação Condutividade
<b>Amônio</b>	0,546059011	0,107033	-0,17126
<b>Cálcio</b>	-0,644140879	0,25848	0,908262
<b>Magnésio</b>	-0,69946567	0,142987	0,993854
<b>Potássio</b>	-0,483897676	0,1713	0,977742
<b>Sódio</b>	-0,609946567	0,13205	0,993934
<b>Cloreto</b>	-0,604405819	0,125994	0,992518
<b>Fluoreto</b>	0,890706692	0,286159	-0,11965
<b>Fosfato</b>	-0,227209667	0,002765	-0,04784
<b>Nitrato</b>	0,820514903	0,149899	-0,03884
<b>Nitrito</b>	-0,227209667	0,002765	-0,04784
<b>Sulfato</b>	-0,62462102	0,137275	0,992149

Observa-se que a relação entre as variações nas chuvas e da concentração dos íons cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto, e sulfato é moderada e negativa (com valores situados entre -0,3 e -0,7) e moderada e positiva para entre índices pluviométricos e o íon amônio (com valores situados entre 0,3 e 0,7). Estes valores indicam que há uma relação moderada entre a falta de chuva e o aumento da concentração de cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto, e sulfato da mesma forma que existe uma relação em que o aumento no teor de amônio é moderadamente afetado pelo aumento das chuvas.

Entretanto, para os íons nitrato e fluoreto, é possível observar que a correlação entre a variação das chuvas e os teores deste íon na água superficial do AP é forte e positiva (com valores situados entre 0,7 e 1,0). Estes valores indicam que há uma relação direta entre o aumento das chuvas na BHAP e do aumento dos teores de nitrato e fluoreto.

No caso das correlações de coeficiente entre a variação dos íons e as medidas de pH, observa-se que a correlação é positiva e fraca (com valores entre 0,3 e 0), o que indica que a concentração iônica e a variação do pH tendem a ser

independentes na variação de seus valores. Salienta-se que o íon fluoreto apresenta a maior correlação positiva (de aproximadamente 0,2) enquanto o íon fosfato demonstra menor correlação positiva (de aproximadamente 0,002) entre a quantificação de íons e as medidas de pH.

O coeficiente de correlação entre condutividade elétrica e a quantificação dos íons amônio, fluoreto, fosfato, nitrito e nitrato apresentou valores baixos (Tabela 17), que caracterizaram como fraca e negativa (valores entre -0,3 e 0) a correlação. na variação dos teores destes íons e da condutância elétrica. Entretanto, os valores do coeficiente de correlação entre os íons cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto e sulfato (todos com valores de correlação acima de 0,9 conforme a Tabela 17) apresentaram correlação forte e positiva (valores situados entre 0,7 e 1). Estes valores indicam correlação alta entre o aumento destes parâmetros e o aumento da condutividade elétrica, ou seja, o aumento nos teores destes íons faz aumentar a condutividade elétrica da água superficial do AP.

#### **5.4 Discussão dos resultados**

O comportamento dos parâmetros analisados pode ser explicado tanto por dinâmicas da natureza, como por exemplo, os ciclos biogeoquímicos, intemperismo químico e ao ciclo hidrológico, quanto por atividades desenvolvidas pelo ser humano. Para discussão integrada dos ânions e cátions detectados e para uma melhor visualização das relações entre os resultados obtidos, os íons foram divididos de acordo com o ciclo – nitrogênio, enxofre, fósforo - onde normalmente estão inseridos, bem como em relação aos ambientes onde tipicamente são encontrados – águas oceânicas, águas continentais, águas estuarinas<sup>6</sup> e lacustres – sem deixar de lado a relação com o arcabouço geológico e as interações das ações antrópicas sobre esses ambiente. Dessa forma, é necessária a compreensão dos ciclos biogeoquímicos, bem como a descrição do ciclo hidrológico para os resultados aqui apresentados.

---

<sup>6</sup> Forma de desaguadouro de um rio no oceano [...] É uma forma de boca única e é geralmente batido por correntes marinhas e correntes de marés que impedem a acumulação de detritos. É a parte vizinha da costa invadida da costa invadida pelas marés, correntes e vagas (GUERRA *et al.* 2005).

### 5.4.1 O ciclo hidrológico

O ciclo Hidrológico é o sistema que compreende a movimentação de água no planeta Terra, de forma a manter constante a quantidade de água disponível na atmosfera, havendo basicamente a variação do estado físico da água — líquido gasoso ou sólido. Este ciclo se divide em evaporação, transpiração, condensação, infiltração, percolação e escoamento, conforme a figura 18. A importância do ciclo hidrológico na constituição das águas superficiais de acordo com SUGUIO (2006) ocorre por que:

Entre as substâncias químicas contidas nas águas continentais que fluem para os oceanos, têm-se as que foram dissolvidas das rochas e solos [...] além das relacionadas às atividades antrópicas e à evaporação superficial da água ascendente do subsolo. (pág. 17)

As etapas do ciclo hidrológico são geradas pela energia solar que atinge o planeta Terra, dando origem a esta dinâmica da água, que atua também como agente modelador das paisagens. Através destas etapas do ciclo hidrológico há o aporte dos constituintes químicos da paisagem – natural ou antrópica - para as águas. O intercâmbio de matéria e energia entre esses ambientes é promovido pela água. (SUGUIO, 2006). A partir dessas premissas, os níveis quantificados nas amostras coletadas foram comparados com os limites estipulados na resolução CONAMA nº357.



Figura 29 - Ilustração do ciclo hidrológico. Fonte: <http://www.asrprojetos.com.br>.

A figura 29 mostra os estágios do ciclo hidrológico (SANTOS *in*: FEITOSA *et al.*1997) onde se tem no estágio A a evaporação, que consiste na água que por conta da incidência solar passa do estado líquido para o estado gasoso. Observa-se no estágio B a transpiração, que corresponde à evaporação da água através das

folhas das árvores e após a água ser extraída do solo pela raiz das árvores. O estágio C corresponde à condensação do vapor da água, onde há a conversão da água no estado gasoso em pequenas gotículas as quais em seguida se precipitam na forma de chuva ou neve. Após a precipitação da água que estava no estado de vapor na atmosfera, ocorre a infiltração, que se trata do movimento que a água realiza penetrando entre os poros do solo, conforme o estágio D da figura 29. Posterior a infiltração da água no solo, ocorre a permo-percolação observada no estágio E, que é a circulação das águas subterrâneas através dos poros do solo, esta etapa se trata da movimentação mais lenta existente no ciclo hidrológico (Tabela 1). E por fim, o escoamento superficial que consiste no fluxo superficial da água precipitada, que ocorre após a saturação dos poros do solo conforme o estágio F da Figura 29.

#### **5.4.2 Amônio, Nitrito, Nitrato e o ciclo do nitrogênio**

Os ânions nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e o cátion amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) fazem parte do ciclo do nitrogênio, que é um ciclo biogeoquímico importante para reciclagem de matéria orgânica do ambiente, bem como é fonte de macronutrientes para o solo. O nitrogênio pode ser encontrado na natureza na forma gasosa, onde ele pode ser capturado da atmosfera por organismos especializados em fixação de N no solo, bem como pode ser liberado para atmosfera. O nitrogênio pode também ser derivado de matéria orgânica em decomposição – animais e vegetais em geral – ou a partir do aporte de esgotos residenciais ou industriais, bem como de excrementos de criadouros de animais. Em águas o N pode estar presente na forma de nitrato, nitrito ou amônio. A esse respeito RICKLEFS (2003) afirma que:

O nitrogênio entra nos corpos de água doce em relativa abundância pelo escoamento superficial dos ecossistemas terrestres do entorno. As concentrações típicas de água doce são de cerca de 40,0 mg/L, a maior parte na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e compostos nitrogenados orgânicos dissolvidos, com menores quantidades de amônia ( $\text{NH}_4^+$ ). (p. 26)

A presença de nitrato, nitrito e amônia pode ser de ocorrência natural, entretanto, quando há a ocorrência de nitrato em águas, por causa de sua mobilidade e pela facilidade de remoção junto com as camadas superiores do solo, este pode ser utilizado como indicador de contaminação ambiental por se tratar da etapa final da oxidação do nitrogênio. SANTOS (1997, p. 93) acusa que valores situados acima de 5 mg/L podem indicar contaminação oriunda de esgotos, fossas

sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados e resíduos de animais. A esse respeito CARVALHO *et. al.* (2005 p. 39) afirmam que os nitratos podem derivar de água de esgoto, portanto sua presença na água é indício de contaminação, dessa forma elevados teores de nitrato podem ser considerados índice de advertência de que a água deve ser analisada para se verificar se contém bactérias patogênicas.

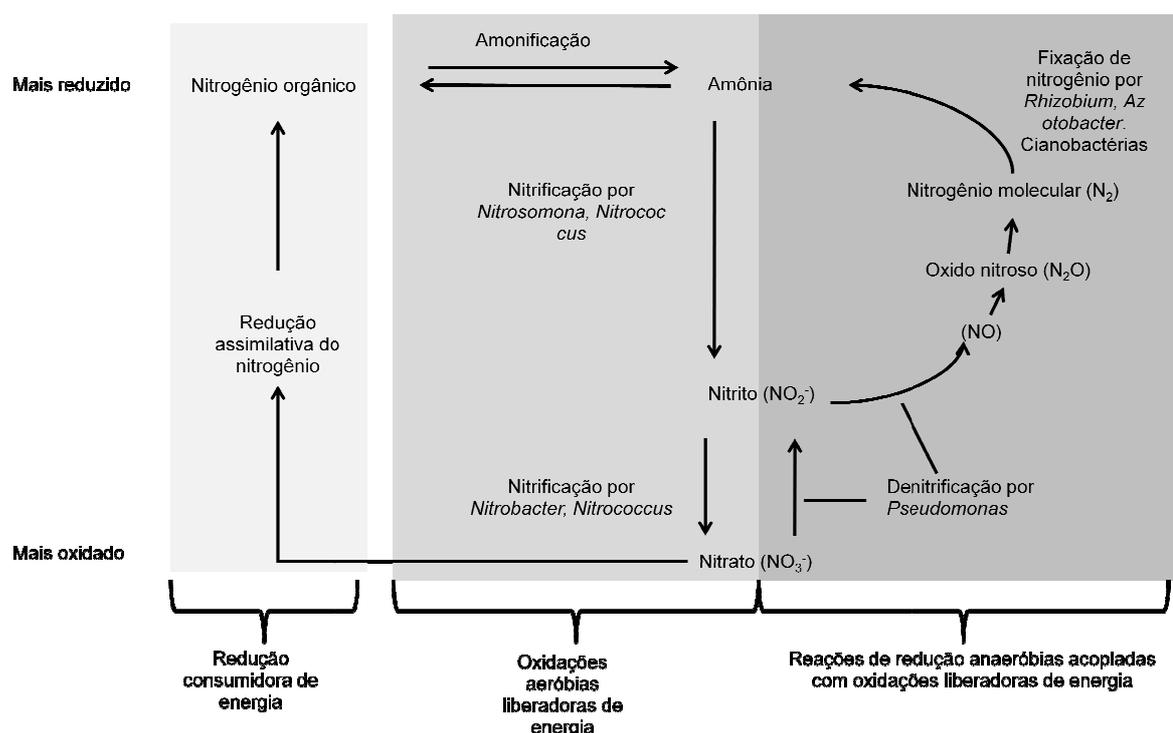


Figura 30 - Esquematização do ciclo do nitrogênio (RICLEFS, 2003)

Na legislação brasileira a quantidade de nitrato, nitrito e amônio considerados seguros de acordo com os usos da água, são definidos pela resolução CONAMA n° 357, onde fica estipulado para nitratos o valor limite de 10,0 mg/L, nitrito 1,0 mg/L e amônio 5,6 mg/L (para pH 7,5<pH≤8,0), 2,2 mg/L (para pH 8,0<pH≤8,5) e 1,0 (para pH>8,5). Os teores de nitrato acima do determinado na resolução CONAMA n°357 se deram na amostragem de verão nos pontos 5, ponto 6, ponto 7 e ponto 8. O íon nitrito foi encontrado somente no ponto 1 na amostragem de primavera com o valor abaixo do estipulado pela legislação vigente. O íon amônio apresentou detecções que se encontram dentro dos limites estipulados por lei, todavia cabe destacar que seu comportamento é semelhante ao do íon nitrato.

O valor do coeficiente de correlação entre as médias de nitrato e os índices

pluviométricos dentro dos meses de coleta indicou correlação forte e positiva (Tabela 18). Entre pH e o teor de nitrato a correlação é fraca e positiva e entre condutividade elétrica e nitrato a correlação é fraca negativa. A partir da correlação forte entre o nitrato e a pluviometria, há indício de relação entre aumento nas chuvas durante a primavera de 2009 e o verão de 2010 (Figura 4 e Tabela 2) com o aumento no teor de nitrato, pois este íon está presente nas camadas superficiais do solo, as quais são transportadas por meio de escoamento superficial para os corpos d'água (BRAGA *et al.* 2002). O aumento no teor de nitrato na BHAP, e a variação deste íon apresentaram pouca relação com a acidez ou basicidade do meio, e praticamente nenhuma relação com a condutividade elétrica da água superficial do Arroio Pelotas.

O valor da correlação entre a variação média de nitrito e as médias pluviométricas nos meses de coleta indica correlação fraca e negativa. Entre os teores de nitrito e pH indica correlação positiva fraca, e entre nitrito e condutividade elétrica o que significa que há baixa interdependência entre estes parâmetros. Entre os teores de nitrato e condutividade elétrica coeficiente de correlação é de aproximadamente -0,04 que caracteriza uma correlação negativa fraca. A partir destes valores correlacionais obtidos, percebe-se que a variação de nitrito exerce pouca influência na condutividade e no pH, da mesma forma que as médias pluviométricas influenciaram pouco nos teores de nitrito.

O coeficiente de correlação entre o valor médio do íon amônio e a média pluviométrica nos meses de amostragem apresentou o valor de 0,54 que se caracteriza como correlação moderada e positiva. Entre pH e a variação de amônio a correlação é fraca e positiva, indicando o valor de 0,10 e entre a condutividade elétrica e a variação de amônio a correlação é fraca e negativa, com valor de -0,17. A partir destes valores, é possível observar que há influência dos índices pluviométricos nos teores de amônio, e que a presença deste íon exerce pouca influência no pH e na condutividade elétrica da água na BHAP.

Os pontos 1, 2, 3 e 4 estão situados em uma região onde há ocorrência de atividades agro-pastoris (Ag) alternadas com regiões de floresta semidecidual estacional (Fg). Nos pontos 5, 6, 7, 8 e 9 a combinação entre a agricultura de culturas cíclicas, bem como a criação de animais atua como um vetor das substâncias analisadas. É importante observar que a urbanização existente nesta

porção da BHAP é uma fonte de despejo de esgoto, a partir do qual há o aporte de matéria orgânica nestas águas.

#### **5.4.3 O Sulfato e o ciclo do enxofre**

O ânion sulfato faz parte do ciclo do enxofre, o qual se trata de um ciclo basicamente sedimentar, possuindo ainda uma etapa gasosa. (BRAGA *et al.* 2002). O ciclo do enxofre (Figura 20) mostra os vetores e as fontes mais comuns do enxofre na natureza. Entre as formas mais comuns de se encontrar esse elemento, está o sulfato inorgânico que é aproveitado pelos organismos produtores primários. O sulfato varia de moderadamente solúvel a muito solúvel. Em geral é estável, tem sua origem na oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados como, por exemplo, a gipsita e a anidrita. (SANTOS, 1997 p 92). A respeito do sulfato LUCHESE *et al.* (2002) afirmam que a adubação nitrogenada (feita com sulfato de amônio), adubação fosfatada (feita com sulfato de monocálcico e gesso combinados) e a adição de potássio (sulfato de potássio) são fontes de sulfato para o solo. É importante destacar também o aporte de enxofre para os sistemas aquáticos a partir das chuvas, que transportam o enxofre da atmosfera para as águas. O sulfato pode ainda ser de origem marinha, entretanto parte deste íon pode atribuída às atividades humanas, como por exemplo, as atividades industriais, bem como através da queima de combustíveis fósseis (SUGUIO, 2006). Dessa forma, existem processos naturais – ação do intemperismo químico em rochas, chuvas, decomposição de matéria orgânica e influência de águas oceânicas – bem como atividades antrópicas – agricultura, atividades industriais, queima de combustíveis fósseis e aporte de esgotos – que influenciam no aporte de sulfato em águas fluviais.

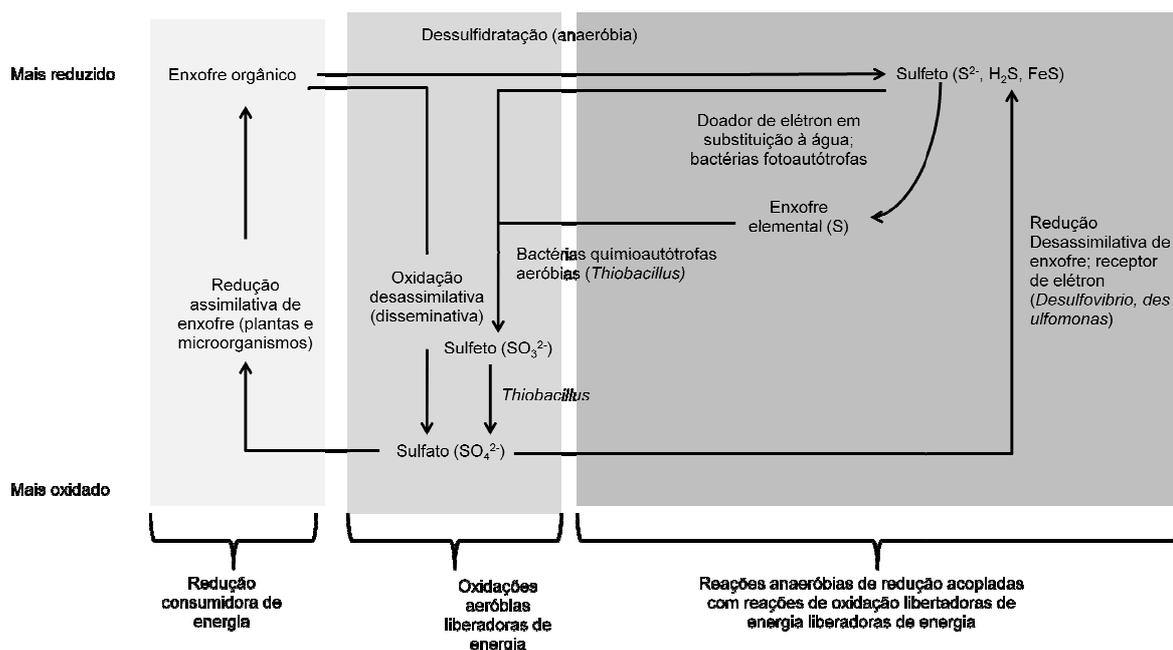


Figura 31 - Esquematização do ciclo do enxofre (RICLEFS, 2003)

Nas quantificações realizadas, os valores se mantiveram com concentrações entre 1 mg/L e 10 mg/L, com exceção dos pontos 8 e 9 na amostragem de outono, onde os valores acusaram respectivamente 147,25 mg/L e 130,82 mg/L. Na resolução CONAMA n° 357 os valores máximos estipulados são de 250 mg/L. Desta forma, do ponto de vista legal o íon sulfato está de acordo com o previsto em legislação. Entretanto, é importante ressaltar a acentuada diferença entre todas as outras amostras analisadas e as dos pontos 8 e 9 no referido período.

O coeficiente de correlação entre a variação média de sulfato e a variação média dos índices pluviométricos foi de aproximadamente -0,62 o que indica uma correlação moderada e negativa. Entre pH e a variação de sulfato a correlação é fraca e positiva, pois possui o valor de 0,13 e entre o íon sulfato e a condutividade elétrica o coeficiente de correlação é forte e positivo possuindo o valor de 0,99. Desta forma, percebe-se que conforme há a redução da pluviometria média na BHAP, há o aumento do teor de sulfato, que está aumentando junto com a condutividade elétrica, mas que não possui relações com a variação do pH.

Com base na pesquisa de MACHADO (2002), sobre o canal São Gonçalo é possível observar periodicamente há a salinização destas águas, as quais foram influenciadas pela falta de chuvas na região, bem como pelo nível das marés e infusão de água salinizada no estuário da Lagoa dos Patos. Conclui-se, portanto uma diminuição no aporte de água pluvial, o que permitiu que os pontos 8 e 9

sofressem influência da água salinizada do canal São Gonçalo. Sendo importante observar que nos demais pontos as fontes mais prováveis se tratam da adubação sulfatada, visto que os valores na amostragem de primavera e verão tendem a ser mais altos nos pontos 1, 2, 3 e 4.

Esta tendência pode ser relacionado ao escoamento superficial propiciado pela ocorrência de chuvas no referido período, o qual propicia o transporte de compostos sulfatados do solo para os cursos d'água que drenam essas localidades, as quais são classificadas como Agropecuária (Ag) e Floresta Semidecidual Estacional (Fg), que podem ser observadas na figura 5.

#### 5.4.4 O Fósforo e o ciclo do fósforo

O cátion fosfato integra o ciclo do fósforo, o qual é um ciclo sedimentar, a única fonte natural de fósforo vem do desgaste de rochas que contém fosfato, provocado pelas intempéries naturais (BRAGA *et al.* 2002 p. 96). O fósforo chega aos corpos de água transportado pelo escoamento superficial. A figura 21 demonstra as etapas de transporte de fósforo, bem como os principais vetores desse elemento, os quais se tratam de organismos produtores, decomposição de rochas, entre outros. A respeito do ciclo do fósforo BRAGA *et al.* afirma que:

Como o fósforo é um elemento de ciclo fundamentalmente sedimentar, seu principal reservatório (ou *pool* nutritivo) é a litosfera, mais precisamente as rochas fosfatadas e alguns depósitos formados ao longo de milênios. Por meio de processos erosivos, ocorre a liberação do fósforo na forma de fosfatos, que serão utilizados pelos produtores. Entretanto, parte desses fosfatos liberados é carregada para os oceanos, onde se perde em depósitos a grandes profundidades, ou é consumida pelo fitoplâncton. (pág. 31, 2002)

Entretanto, quando se discute origem antropogênica para esses compostos, é preciso estar atento para a agricultura, esgotos, inseticidas e derivados de detergentes. MATHES & HARVEY (apud: SANTOS, 1997) afirmam que devido a ação dos microorganismos, a concentração de fosfato deve ser baixa (< 0,5 mg/L) em águas naturais. Valores acima da 1,0 mg/L, geralmente são indicativos de águas poluídas. A presença de  $\text{Ca}^{+2}$  limita a concentração de fosfato e a ocorrência de  $\text{CO}_2$  dissolvido a favorece. O fosfato apresenta uma nítida tendência a formar compostos com vários íons e coligações fortes com os minerais de argila. (Santos 1997 p. 93). De acordo com RICKLEFS (2003)

A maior parte de fósforo na água doce rapidamente forma complexos químicos com ferro e se precipita para fora do sistema, normalmente deixando cerca de 0,01 mg/L em solução como fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Como

resultado, o fósforo, mais do que o nitrogênio, geralmente limita o crescimento de plantas em sistemas de água doce. (p.27)

O excesso de fosfato pode ocasionar o crescimento de algas, as quais podem tornar o ambiente tóxico para a biota. BRAGA *et al.* (2002) afirma que a eutrofização do ambiente é causada pelo aporte de fósforo. Este acréscimo de fósforo normalmente vem de esgotos domésticos, esgotos industriais e de fertilizantes agrícolas. Nas amostras analisadas, o íon fosfato foi encontrado somente na nascente da coleta de primavera, em um período onde os índices pluviométricos – figura 4 – estavam acima da média climatológica da região, portanto favorecendo o escoamento superficial. No ponto 1, conforme observado na figura 4 há a predominância de atividades agropecuárias (Ag), fato corroborado pela presença de culturas de fumo e de milho nas proximidades – conforme observado no mapa de conflitos na Figura 5, BRAGA *et al.* afirma que fatores antrópicos como por exemplo, desmatamento e agricultura são fatores que reduzem a quantidade de fosfato *in natura*.

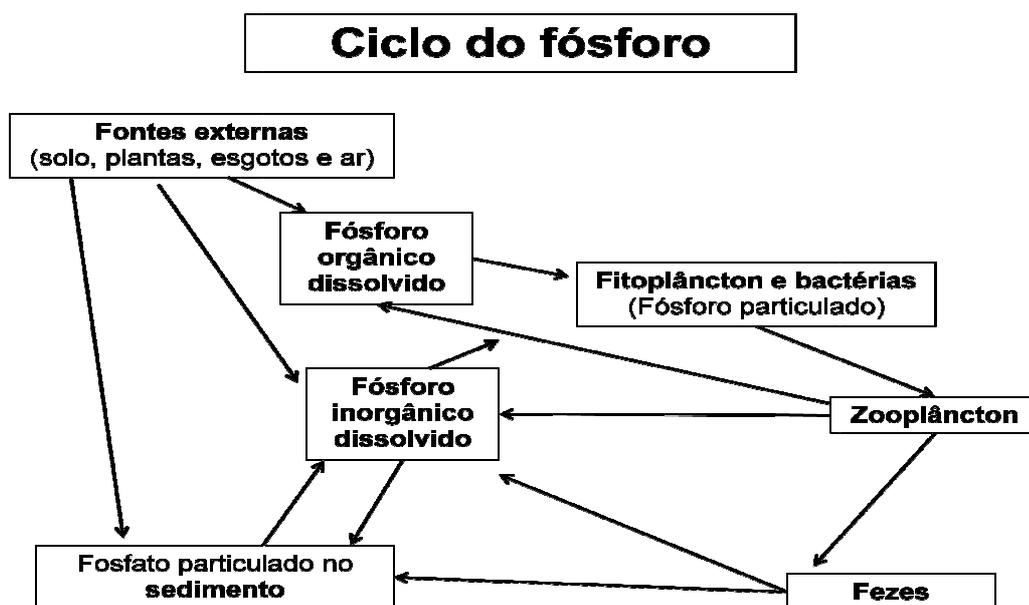


Figura 32 - Esquematização do ciclo do fósforo (RICLEFS, 2003).

O valor do coeficiente de correlação entre a média pluviométrica e a média de fosfato nos meses em que foram realizadas as coletas foi de -0,22 que se caracteriza como correlação fraca e negativa. Entre pH e a variação de fosfato a correlação foi fraca e positiva, apresentando o valor de 0,002 e entre a condutividade elétrica e a variação de fosfato o valor foi de -0,04 se caracterizando como fraca e negativa. A partir destes valores correlacionais é possível observar que

a relação entre a variação das chuvas, pH e condutividade com a variação de fosfato é fraca.

#### 5.4.5 Cloreto, Sódio, Cálcio, Potássio e Magnésio

Os íons sódio, potássio, magnésio, cálcio e cloro possuem partes preponderantes em águas naturais atribuídas a origem marinha (SUGUIO, 2006). Essa afirmativa corrobora com a análise de RICKLEFS (2003) onde este autor discute que:

A água do mar é abundante em íons sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloro ( $\text{Cl}^-$ ) e contém quantidades significativas de íons magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). A água doce contém uma variedade maior de íons, mas os íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e sulfato tendem a predominar. (p.25)

As águas meteóricas podem conter teores destes íons. Entretanto, cabe observar a afirmação de SUGUIO (2006) onde este autor discute que quanto maior a distância dos oceanos mais pobres de íons de origem marinha será a água de precipitação. O vetor de mobilidade destes íons na relação entre águas oceânicas/pluviais/fluviais ocorre quando em primeira instância da evaporação das águas oceânicas, a partir de onde há a formação do aerossol marinho, que é transportado pela atmosfera na forma de vapor d'água. A seguir ocorre a condensação seguida a meteorização desse vapor d'água, onde as águas das chuvas atingem o solo, parte escoam superficialmente de forma a atingir cursos d'água, enquanto a parte que se infiltra irá alimentar o lençol de água subterrânea. Parte dessa água evapora o que pode aumentar a salinidade das águas fluviais. Deve-se levar em conta ainda que a evaporação pode ocasionar a precipitação de sais, que caem no solo e podem ser carregados por águas pluviais em direção aos cursos d'água e podem também sofrer infiltração.(SUGUIO, 2006).

É importante destacar a relação entre arcabouço geológico e a presença dos íons analisados, visto que a composição rochosa e sedimentar pode servir de fonte destes íons. No caso da região do Escudo Sul-riograndense destaca-se a ação do intemperismo químico nos minerais das rochas existente na BHAP como fonte dos íons  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$ . De acordo com SANTOS (1997):

A composição das rochas ígneas é muito variada, entretanto sabe-se que os silicatos são predominantes. Íons como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  estão ligados fracamente à estrutura silicatada de forma que podem passar facilmente para a água. (p. 86)

Nesta região de acordo com a figura 3 há a ocorrência das formações

geológicas: Complexo Granítico-gnaissico Pinheiro Machado; Suíte Dom Feliciano – Fácies Cerro Grande e Fácies Serra do Herval e Granito Arroio Moinho na porção superior da BHAP, localizada no Escudo Sul-riograndense, também pode servir como fonte dos íons de potássio, magnésio, cálcio. Nestas formações, minerais como, por exemplo, a biotita (cuja fórmula geral é:  $K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2(Al,Fe)Si_3O_{10}$ ), o K-feldspato ( $KAl_2Si_2O_8$ ), Plagioclásio ( $CaAl_2Si_2O_8$ ), e o Quartzo ( $SiO_2$ ) são tipicamente encontrados.

Nos pontos 5, 6, 7, 8 e 9, que se localizam na Planície Costeira, há a ocorrência de depósitos colúvio-aluviais, depósitos de planície lagunar 2, 3 e 4; depósitos de praia e cristas lagunares, depósitos eólicos, depósitos aluviais e turfás. Conforme observado na figura 3 é possível perceber que os depósitos aluviais encontram-se em contato direto com o curso principal do Arroio Pelotas, esses depósitos correspondem a fácies alimentadas pelos sistemas de Leques Aluviais alimentados pelo Escudo Sul-riograndense. TOMAZELLI *et al.* (2000) afirmam que essas fácies englobam produtos de remobilização gravitacional de mantos de alteração de rochas graníticas.

Dessa maneira, a decomposição de rochas ricas nos minerais: Plagioclásio, K-feldspato, biotita e quartzo servem como aporte de sedimentos para esses depósitos. Entretanto, é perceptível na figura 3, que existem os depósitos lagunares 2, 3 e 4. Os depósitos lagunares 2 e 3 apresentam constituição arenosa, interpretadas como sendo de origem praial e marinho raso (TOMAZELLI *et al.* 2000) onde há a ocorrência de areias finas, síltico-argilosas, podendo haver concreções carbonáticas. No sistema deposicional de Planície Lagunar 4 há a ocorrência de depósitos de origem marinha entre as barreiras pleistocênicas e o sistema de leques aluviais. Essas formações sedimentares, a partir do escoamento superficial, bem como através da percolação de águas nesses sedimentos podem contribuir para a ocorrência de íons liberados pelo intemperismo químico das rochas do Escudo Sul-riograndense, quanto de íons de origem marinha. Dessa maneira, é necessário que se pondere que:

Os sedimentos hidrolisados são formados em sua maior parte por partículas provenientes da hidrólise de outras rochas, como por exemplo, as argilas. Em sua formação absorve uma grande quantidade de água que vai sendo expulsa lentamente durante os processos de litificação. Estas águas liberadas podem ter uma grande quantidade de sais, principalmente se a argila for de origem marinha. Em geral apresentam um conteúdo elevado de  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^+$  e sílica. (SANTOS, 1997 p.87)

O cloreto está presente em todas as águas naturais, com valores situados entre 10 mg/L e 250 mg/L nas águas doces, sendo os níveis de cloreto superiores em águas oceânicas (valores entre 18.000 mg/L e 21.000 mg/L). O teor desse elemento é muito alto nas águas oceânicas e praticamente não existe outra fonte imaginável para o cloro (SUGUIO, 2006 p.111). Quando a presença de cloreto é oriunda de fontes antrópicas, este pode ser utilizado como um indicador de poluição em aterros sanitários e lixões. Altas quantidades de cloretos são tóxicas para a maioria dos vegetais, inibindo seu crescimento. (SANTOS, 1997 p 92).

O sódio é um metal alcalino, bastante análogo quimicamente ao potássio, outro destacado metal alcalino. Dos dois, é o único encontrado em quantidades significativas em águas naturais, sendo importante destacar que o  $\text{Na}^+$  é um dos principais constituintes da água. Dessa forma, a presença de sódio em águas naturais não chega a constituir um típico fator de poluição ambiental.

O íon potássio na natureza pode ser encontrado em minerais como, por exemplo, e a biotita. A biotita apresenta-se como uma das principais fontes de K para as plantas e para o solo (LUCHESE *et al.* 2002). O potássio tende a ser adsorvido por minerais presentes nas argilas, bem como a ser consumido pelas plantas, logo não apresenta tendência a permanecer em solução. Outra fonte de potássio para as águas naturais é a agricultura a partir da utilização de adubos sintéticos. Também tendo como potencial fonte a agricultura cita-se o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), que apresenta propriedades similares ao cálcio, porém é mais solúvel e mais difícil de precipitar. Quando em solução tende a permanecer, daí o enriquecimento dos seus sais nas águas dos oceanos. (SANTOS, 1997) A presença de magnésio e cálcio em águas naturais, é justificada pela afirmação:

Atualmente, com a preocupação dos agricultores com a correção do pH do solo, a aplicação de corretivos, onde predomina a aplicação de calcário, tem sido a principal forma de incorporação de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , principalmente quando da utilização de calcário dolomítico, que tem como característica a presença de cálcio e magnésio numa proporção de 3:1 respectivamente, sendo o cálcio representado por  $\text{CaCO}_3$  e o magnésio por  $\text{MgCO}_3$ . (LUCHESE *et al.* 2002 p.111)

Desta forma, observa-se que o cálcio, bem como o magnésio e o potássio pode ser de origem antrópica a partir de atividades agrícolas. É importante salientar que estes dois íons são responsáveis por praticamente todo caráter básico em

águas naturais. (CARVALHO *et al.* 2005). Os sais de cálcio possuem moderada a elevada solubilidade, tendendo assim a ficar em solução, precipitando somente quando há saturação deste elemento em meio aquoso. O cátion  $\text{Ca}^{2+}$  é encontrado em rochas calcárias, sendo o plagioclásio e apatita as maiores fontes de liberação deste elemento das rochas ígneas para águas (SANTOS, 1997 p. 91).

Neste trabalho, os íons de cloreto, sódio, magnésio e potássio apresentaram comportamento semelhante, onde foram detectados em todas as amostragens e em todos pontos (Tabelas 6, 12, 13, 14, 15 e figuras 19, 25, 26, 27 e 28), sendo observado a ocorrência de picos desses parâmetros nos pontos 8 e 9 na coleta de outono. O valor do coeficiente de correlação entre os índices pluviométricos e a presença destes íons foi de aproximadamente -0,60 para cloreto e sódio; -0,69 para magnésio; -0,64 para cálcio; e de aproximadamente -0,48 para potássio. Estes valores indicam coeficientes de correlação moderados e negativos. Entre pH e a variação destes íons é fraca e positiva, onde foram observados os valores: 0,12 para cloreto; 0,13 para sódio; 0,14 para magnésio; 0,25 para cálcio e 0,17 para potássio. Por fim, a correlação entre condutividade elétrica se apresentou como forte e positiva, onde os valores foram: 0,99 para cloreto, sódio e magnésio; 0,97 para potássio e 0,90 para cálcio. A partir destes valores do coeficiente de correlação, foi possível observar que quando houve diminuição nas médias pluviométricas os teores destes íons aumentaram junto com a condutividade elétrica da água na BHAP, e que essas variações apresentaram pouca relação com os valores do pH.

Os pontos 1, 2, 3, e 4, que se situam no Escudo Sul-riograndense podem ter aporte de Cálcio, Sódio, Magnésio e Potássio a partir da ação do intemperismo químico nos minerais das rochas existentes na região, bem como a partir do transporte de solo a partir de escoamento superficial. Visto que os cursos de água nessa região drenam áreas de atividades agropecuárias, áreas de reflorestamento e de florestas estacionais semidecíduais submontana (Figura 3). Entretanto, a presença de cloreto em todas as amostras pode ser explicada pelo transporte atmosférico na forma de vapor e pela precipitação das chuvas meteóricas

Nos pontos 5, 6, 7, 8 e 9, de acordo com a figura 3, há a ocorrência de depósitos sedimentares da planície costeira, que podem explicar a presença dos íons cloreto, cálcio, magnésio, sódio e potássio, visto que as áreas drenadas pela BHAP nessa região correspondem a áreas de agricultura de culturas cíclicas, de

reflorestamento a floresta estacional aluvial e a áreas urbanizadas. É importante destacar que os pontos 8 e 9, que nas demais coletas apresentaram teores de cloreto, cálcio, sódio, magnésio e potássio acima do registrado nos demais pontos, na amostragem de outono apresentaram picos, sendo os teores de cloreto de 1418,75 mg/L para o ponto 8 e 1336,96 mg/L para o ponto 9; os teores de cálcio 17,64 mg/L para o ponto 8 e 17,01 mg/L para o ponto 9; os teores de sódio 515,77 mg/L para o ponto 8 e 466,33 mg/L para o ponto 9; os teores de potássio 17,98 mg/L para o ponto 8 e 14,86 mg/L para o ponto 9; os teores de magnésio 44,60 mg/L para o ponto 8 e 39,20 para o ponto 9. Na legislação brasileira há a previsão dos íons cloreto (CONAMA n° 357), com valores máximos estipulados de 250 mg/L e de sódio (Portaria n° 518 do Ministério da Saúde) com valores máximo de 200 mg/L..

Esses valores elevados podem estar associados a salinização do canal São Gonçalo que ocorre a partir da influência oceânica na água da Lagoa dos Patos (MACHADO, 2002), pois estes pontos estão situados nas proximidades da foz do AP. De acordo com dados registrados pela Agência da Lagoa Mirim (anexo 2), no período de amostragem, a água do canal São Gonçalo estava salinizada, o que torna esperada a presença de íons de origem marinha, como por exemplo, cloreto, sódio, cálcio, potássio e magnésio.

#### **5.4.6 Fluoreto**

O fluoreto pode derivar da fluorita, principal fluoreto das rochas ígneas, ou de algum dos muitos complexos minerais de que os fluoretos participam. (CARVALHO *et al.* 2005 p.37). Entretanto pode ser encontrado em águas naturais com elevados teores de Na<sup>+</sup>, pois estas geralmente possuem elevadas concentrações de F<sup>-</sup>. Em águas onde existe a predominância de cálcio há a inibição deste íon (SANTOS, 1997). O fluoreto possui solubilidade limitada e pouco contribui para a alcalinidade da água, pois se hidrolisa rapidamente. Na natureza, os teores mais comuns de fluoreto correspondem a 0,1 mg/L até 1,5 mg/L, em raras exceções chegando a concentrações de 10 mg/L e em situações excepcionas quando as águas apresentam caráter sódico, entretanto com pouca presença de cálcio, os valores podem chegar a 50 mg/L. Os teores de fluoreto estão definidos na Resolução CONAMA n° 357, onde o valor máximo para água doce classe III é de 1,4 mg/L.

Neste estudo, o coeficiente de correlação entre os valores médios de fluoreto e a média dos índices pluviométricos nos meses de coletas é forte e positivo, com o valor de aproximadamente 0,89. Esta correlação indica que há uma relação direta entre o aumento das chuvas e o aumento do teor de fluoreto nas águas superficiais da BHAP.

Entre pH e a variação de fluoreto a correlação foi de 0,28, caracterizando-se como fraca e positiva. O coeficiente de correlação entre os teores de fluoreto e a condutividade elétrica foi de -0,11. Estas correlações baixas indicam pouca relação da variação de fluoreto com a variação de pH, da mesma forma que acusa pouca relação com a variação da condutividade elétrica.

Desta forma, o aumento no teor de fluoreto se dá pelo aumento do escoamento superficial, e, portanto pelo aporte de camadas superficiais do solo para os cursos da água da BHAP. O solo transportado por escoamento superficial pode conter o fluoreto intemperizado da fluorita, presente em rochas do Escudo Sul-riograndense. O valor máximo detectado foi na nascente do Arroio Pelotas (ponto 1), onde foi quantificado 0,45 mg/L.

#### **5.4.7 pH e condutividade elétrica**

O pH é um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio. A escala de pH (Figura 33) é uma maneira de indicar a concentração de  $H^+$  numa solução. Esta escala varia entre o valor mínimo 0 (acidez máxima), e o máximo 14 (acidez mínima ou basicidade máxima). Uma solução neutra tem valor de  $pH=7$ . Em ambientes aquáticos o pH deve ter valores entre 6,5 e 8,5 para que a biota em geral não sofra danos significativos (BRAGA *et al.* 2002).

A concentração de íons de hidrogênio é expressa pelo seu pH. Um pH igual a 7 indica uma solução neutra, nem ácida e nem alcalina. Se menor que 7, indica uma condição ácida, se maior que 7, corresponde a uma solução alcalina. (CARVALHO *et al.* 2005 p. 30)

O pH é um parâmetro importante, pois, além de exercer influência direta na qualidade do meio, regula a concentração de íons, como por exemplo, o amônio, o qual tem diferentes valores para diferentes pH. A resolução CONAMA nº357 estabelece que os valores máximos e mínimos toleráveis são respectivamente 6,0 e 9,0. Neste estudo, os valores de pH oscilaram entre 7,0 e 7,8. Esses valores encontram-se dentro dos estipulados pela legislação vigente e também dentro dos

limites discutidos por BRAGA *et al.*(2000) e por RICLEFS (2003) respectivamente entre 6,0 e 9,0 e entre 7,0 e 8,0.

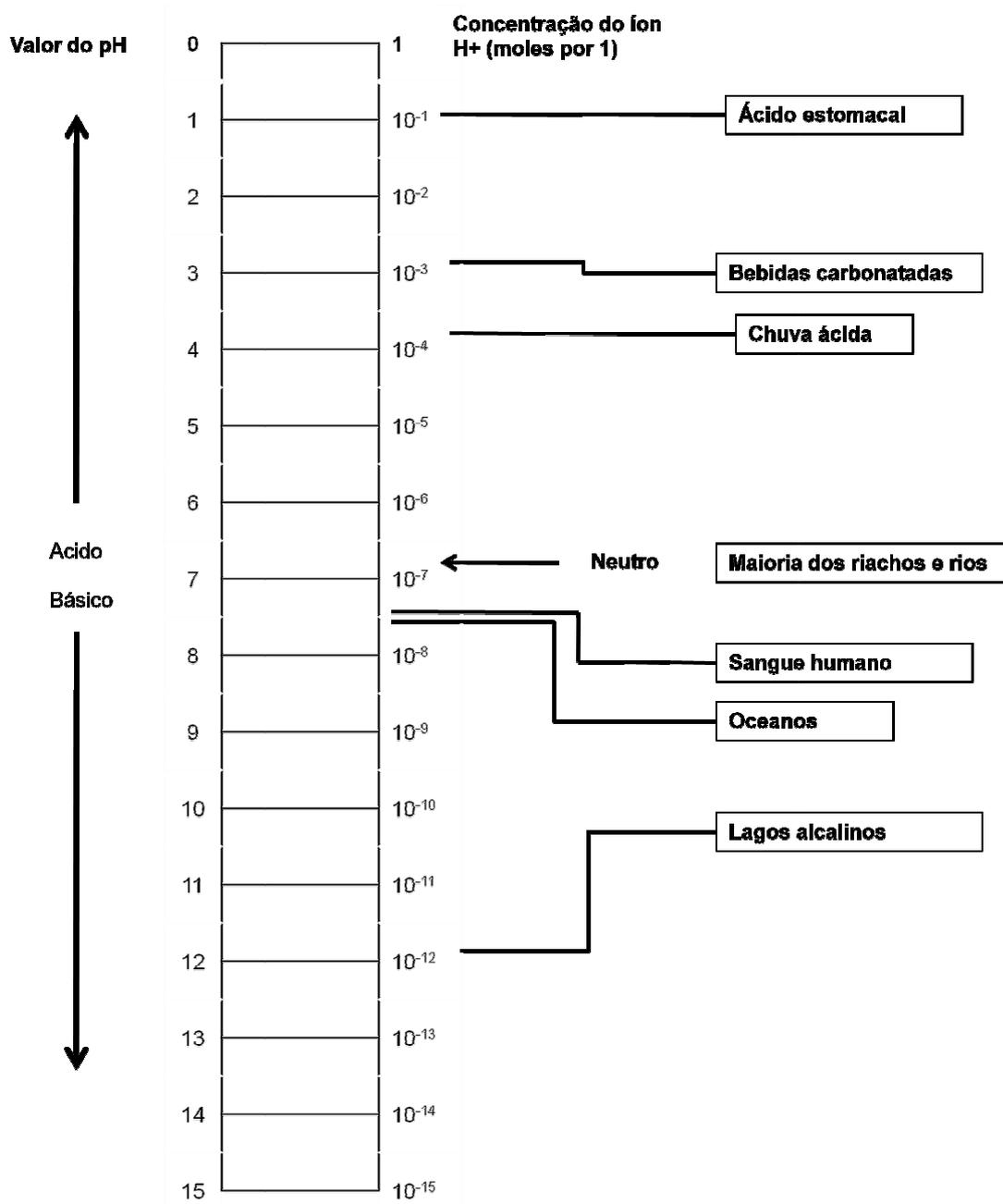


Figura 33 - Escala de concentração de  $H^+$  de acordo com RICLEFS (2003), indicando uma relação entre ambiente típico e pH esperado.

A condutividade é a capacidade de determinada substância de conduzir eletricidade. No caso da água, quando pura, não há condutância de corrente elétrica. Portanto, a condutividade elétrica da água depende diretamente da

quantidade de sais dissolvidos, fato corroborado pela afirmação de CARVALHO e OLIVEIRA, onde:

A água quimicamente pura tem uma condutância elétrica muito baixa. É, pois, um bom isolante. Basta, porém, uma pequeníssima quantidade de mineral dissolvido para torná-la condutora, se esse mineral se dissocia em cátions e ânions. Quanto mais íons presentes, maior a condutância. (2005 p. 30)

Os maiores valores encontrados para a condutividade correspondem as amostragens de outono, período onde é possível observar na Figura 4 uma redução nos índices pluviométricos e um aumento na quantidade dos íons cloreto, cálcio, magnésio, potássio e sódio (respectivamente Figuras 19, 28, 27, 26 e 25). Os quais apresentaram coeficiente de correlação de aproximadamente 0,9. Com o aumento da concentração destes íons, observa-se um aumento na condutividade elétrica, principalmente nos pontos 8 e 9 da coleta de outono, onde foram detectados respectivamente 2,36 mS e 3,50 mS.

## **6. Conclusões**

A partir dos resultados obtidos nas análises de cátions e ânions realizadas nas águas superficiais do Arroio Pelotas coletados em 9 pontos, foi possível concluir que:

1) Os íons cloreto, sódio, magnésio, potássio, cálcio e sulfato apresentaram elevação em seus teores na amostragem de outono de 2009 na desembocadura do Arroio Pelotas, observado que nos pontos 8 e 9 apresentaram maiores quantidades destes íons. A elevação destes íons, podem estar atribuídas pela redução do volume de água doce de origem continental, que aliada a infusão de água salinizada do canal São Gonçalo ocasiona o aumento nos teores destes íons, bem como o aumento da condutividade elétrica principalmente nos pontos de coleta 8 e 9. Nos demais pontos a ocorrência destes íons pode estar relacionada a utilização de compostos para a correção da acidez do solo, bem como a natureza dos pacotes sedimentares da PCRS existentes na região, como também a decomposição das rochas do ESRG.

2) Os teores de nitrato e fluoreto apresentaram aumento em suas concentrações a partir do ponto 5 na amostragem de verão, observado que nitrato e fluoreto foram quantificados em todas as amostras e que o íon amônio não foi quantificado nos pontos 7, 8 e 9 na coleta de primavera de 2009, bem como em todas as coletas de inverno de 2009, este íon apresentou maiores concentrações na amostragem de outono de 2009 nos pontos 3 e 5 e no verão nos pontos 3, 4 e 8. O aumento dos teores de nitrato e fluoreto podem estar relacionados ao aumento da precipitação de chuva na BHAP, que aumenta o escoamento superficial, e com este fluxo de água há o transporte das camadas superficiais do solo, no caso do nitrato e do amônio e dos sedimentos gerados pelas rochas do ESRG, a partir da decomposição da fluorita. Entretanto, cabe observar que nos pontos 8 e 9 os teores de amônio e nitrato podem ser decorrentes do despejo de esgoto por parte das áreas urbanizadas no entorno do Arroio Pelotas.

3) Os íons nitrito e fosfato foram encontrados apenas no ponto 1 da amostragem de primavera de 2009. A presença de nitrito e potássio na nascente do Arroio Pelotas pode ser atribuída a utilização de adubos fosfatados e nitrogenados, os quais são transportados para os corpos d'água via escoamento superficial, pois neste ponto há o plantio de fumo e milho próximo deste ponto de coleta.

4) Finalmente, nas regiões dos pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7, existe a possibilidade de utilização da água do Arroio Pelotas para irrigação, dessedentar animais e mediante o saneamento adequado ao abastecimento doméstico. Entretanto, nos pontos 8 e 9, as atividades se tornam mais restritas a pesca, a navegação e a recreação em determinada época do ano, por conta da influência da água salinizada do Canal São Gonçalo, o que pode ser prejudicial ao solo e aos organismos que consomem essa água.

## **7. Trabalhos futuros**

Com base nos resultados obtidos neste estudo, há a necessidade de realizar a análise da água superficial do Arroio Pelotas a partir da cromatografia gasosa, com intuito de quantificar se há a presença ou não compostos organoclorados e organofosforados, os quais são utilizados em defensivos agrícolas, pois na BHAP a maior parte da área é ocupada por atividades agropecuárias. Observa-se também que estudos relativos à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), para incrementar as discussões referentes à qualidade deste ambiente aquático. Este parâmetro serve para quantificar a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia, para uma forma inorgânica estável, que é expressa na necessidade bioquímica de oxigênio para a oxidação de matéria orgânica. Existe também a necessidade do estudo da Demanda Química de Oxigênio (DQO), que corresponde a quantificação do teor de oxigênio necessário para oxidar matéria orgânica não-biodegradável. A combinação de DBO e DQO serve para discutir se há ou não eutrofização do ambiente, pois as atividades agropecuárias utilizam adubação nitrogenada e fosfatada, que servem de fonte de macronutrientes para este curso d'água. O estudo da Colimetria Total e Colimetria Fecal nas águas superficiais do AP mostra-se necessárias a para determinar os aspectos microbiológicos deste arroio, observado que podem existir organismos patogênicos em decorrência de esgotos oriundos da urbanização no entorno do Arroio Pelotas.

## 8. Referências bibliográficas

- AB'SÁBER, A.; **Domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ateliê editorial. São Paulo, 2003. 159 p.
- ARIAS, E. L. A.; BUSS, D. F.; ALBUQUERQUE, C.; INÁCIO, A.F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAY, R.; BAPTISTA, D. F.; **Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos**. Ciência & Saúde Coletiva, 12(1): 61-72, 2007
- BERTALANFFY, L. V.; **Teoria geral dos sistemas**. Tradução de: GUIMARÃES, F. M.; 3ª edição. Petrópolis, ed. Vozes, 1977. 351 p.
- BERTRAND, G.; **Paisagem e Geografia física global: um esboço metodológico**. In: R. RA'E GA. Editora UFPR, Curitiba, n° 8. 2004 p. 141-152
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S.; **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (org.). Reflexões sobre a Geografia física no Brasil. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2004. 280 p.
- BRAGA, B.; et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Editora Prentice Hall. São Paulo, SP. 2002. P. 305
- CARVALHO, A. R. de; OLIVEIRA, M. V. C. de; **Princípios básicos do saneamento do meio**. Editora SENAC. São Paulo, SP. 6ª Edição, 2005. P. 211
- CASSETI, W.; **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo, Contexto. 1991.139 p.
- CONTI, J. B.; **Resgatando a fisiologia da paisagem**. In: Revista do departamento de Geografia, 14. São Paulo, USP, 2001. p. 59-68
- DUARTE, R. A. P.; **Marx e a natureza em O capital**. Edições Loyola. 1986. 110 p.
- ELMI, A. A.; MADRAMOOTOO, C.; EGEH, M.; LIU, A.; HAMEL, C.; **Environmental and agronomic implications of water table and nitrogen fertilization management**. J. Environ. Qual., Vol 31, 2002 p. 1858-1867
- Estação Agroclimatológica: Capão do Leão - RS (Embrapa/ETB - Campus da UFPel)
- Convênio Embrapa/UFPel/INMET. **Precipitação Pluviométrica (mm) - Período: 1971/2000 (Mensal/Anual)**.
- Estação Agroclimatológica: Capão do Leão - RS (Embrapa/ETB - Campus da UFPel)

Convênio Embrapa/UFPel/INMET. **Temperatura Média (°C) - Período: 1971/2000 (Mensal/Anual).**

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T., **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Bertrand Brasil. 4° ed. Rio de Janeiro – RJ, 2005. 652 p.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S.; **Geomorfologia ambiental.** Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2006. 192 p.

KARMANN, I. 2003. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. p. 114-138. In: **Decifrando a Terra.** TEIXEIRA, W. et al. (Org.). São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 557 p.

LANDIS, T. D.; CAMPBELL, S.; ZENSEN, F.; **Agricultural pollution of surface water and groundwater in Forest Nurseries.** Intermountain Forest Nursery Association. Park City, UT. 1991. P. 12-16

LUCHESE E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E., **Fundamentos da química do solo: teoria e prática.** Freitas Bastos Editora. 2° Edição. Rio De Janeiro, RJ. 2002 159 p.

MACHADO, G.; **Qualidade das águas no Canal São Gonçalo, Rio Grande do Sul – Brasil.** Dissertação, PPGeo – UFSC, Florianópolis, SC. 2002. 134 p.

**MAPA BRASIL CLIMAS.** Escala 1:5.000.000 IBGE. 1978 – com adaptações.

MARX, K.; **Manuscritos Econômico-filosóficos.** Tradução de José Carlos Bruni. Coleção: Os pensadores. São Paulo. Ed. Abril, 1997 p.

MAXIMINIAMO, L. A.; **Considerações sobre o conceito de paisagem.** In: R. RA'E GA. Editora UFPR, Curitiba, n° 8. 2004 p. 83-91

MEGGIATO, E. I.; KOESTER, E. **Geoprocessamento aplicado ao estudo da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas – RS.** Anais do Encontro de Geógrafos Latino-americano. 2009. 15 p.

MENDONÇA, F. A.; **Geografia e meio ambiente.** 3ª ed. São Paulo, Contexto. 1998. 80 p.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de textos, 2007. 206p.

MIRLEAN, N.; TELLES, R. M.; DUARTE, G. M.; **O que é geoquímica da paisagem?** Geosul, Florianópolis, V.21, n.41. p. 107-126. Janeiro/Junho 2006.

MORAES, A. C. R.; **Meio ambiente e ciências humanas.** São Paulo, Hucitec. 1994. 161 p.

NAIME, R. & FAGUNDES, R. S.; **Controle da qualidade da água do arroio Portão,**

- RS.** Pesquisas em Geociências, 32 (1). 2005. P. 27-35
- RIBBE, L.; DELGADO, P; SALGADO, E.; FLÜGEL, W.-A.; **Nitrate pollution of surface water induced by agricultural non-point pollution in the Pochochay watershed, Chile.** Desalination v. 226, 2008. P. 13-20
- RICKLEFS, R. E.; **A economia da natureza.** Quinta edição. Editora Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, RJ. 2003 p.503
- ROHDE, G. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto.** 2° ed. São Paulo. Signus editora. 2004 163 p.
- ROCHA J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A.; **Introdução à química ambiental.** Bookman. Porto Alegre, 2004. p. 154
- SANKARARAMAKRISHNAN, N.; SHARMA, A. K.; SANGHI, R.; **Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in ground water and surface waters of Kanpur, Uttar Pradesh, India.** Environment International 31, 2005. P.113-120
- SANTOS, A. C.; **Noções de hidroquímica.** In: FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** LABHID – UFPE. Fortaleza, PE. 1997. P. 412.
- SANTOS, M.; **Técnica Espaço Tempo Globalização e meio técnico-científico-informacional.** 4° ed. São Paulo, HUCITEC Ltda. 1998. 190 p.
- Site ASR Projetos:** [http://www.asrprojetos.com.br/ciclo\\_hidrologico.htm](http://www.asrprojetos.com.br/ciclo_hidrologico.htm) acessado em 24/08/2011.
- SUERTEGARAY, D. M. A.; **Geografia física e Geomorfologia: uma (re)leitura.** Ijuí. Ed. Unijuí, 2002. 112 p.
- SUERTEGARAY, D. M.; GUASSELLI, L. A.; Paisagens (imagens e representações) do Rio Grande do Sul. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, M. D.; **Rio Grande do Sul: paisagens em transformações.** Editora UFRGS. 1º edição. Porto Alegre, 2004. 320 p.
- SUGUIO, K.; **Água.** Ribeirão Preto. Holos editora, 2006. 242 p.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.; O Cenozóico no Rio Grande do Sul. p. 375-405. In: **Geologia do Rio Grande do Sul.** HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Org.). Ed. Porto Alegre: Editora da Universidade - UFRGS, 2000. 323 p.

TRICART, J.; **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro. IBGE, 1977. 91 p.