

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**Diego de Almeida Prado**

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS INTERAÇÕES ENTRE O  
AMBIENTE TERRESTRE/AQUÁTICO E EFEITOS DO BARRAMENTO NO  
ALTO CURSO DO RIO IBICUÍ-MIRIM NAS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2018**



**Diego de Almeida Prado**

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS INTERAÇÕES ENTRE O AMBIENTE  
TERRESTRE/AQUÁTICO E EFEITOS DO BARRAMENTO NO ALTO CURSO DO  
RIO IBICUÍ-MIRIM NAS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Análise Ambiental e Territorial do Cone Sul, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

**Santa Maria, RS  
2018**

Prado, Diego de A.  
AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS INTERAÇÕES ENTRE O  
AMBIENTE TERRESTRE/AQUÁTICO E EFEITOS DO BARRAMENTO NO  
ALTO CURSO DO RIO IBICUI-MIRIM NAS CARACTERÍSTICAS DA  
ÁGUA / Diego de A. Prado.- 2018.  
155 p.; 30 cm

Orientador: Waterloo Pereira Filho  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2018

1. Sistema de Informação Geográfica. 2. Limnologia. 3.  
Recursos naturais. 4. Sensoriamento Remoto. 5.  
Drenagens. I. Pereira Filho, Waterloo II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---



**Diego de Almeida Prado**

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS INTERAÇÕES ENTRE O AMBIENTE  
TERRESTRE/AQUÁTICO E EFEITOS DO BARRAMENTO NO ALTO CURSO DO  
RIO IBICUÍ-MIRIM NAS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Análise Ambiental e Territorial do Cone Sul, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Geografia**.

**Aprovado em 26 de novembro de 2018:**

---

**Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Aline Biasoli Trentin, Dr<sup>a</sup>. (Unipampa)**

---

**Felipe Correa dos Santos, Dr.**

---

**Rosana Corazza, Dr<sup>a</sup>. (IFRS)**

---

**Suzane Bevilacqua Marcuzzo, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**

**Santa Maria, RS  
2018**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos pais, irmãos e demais familiares pelo apoio em todos os momentos, pelos conselhos, ajuda, paciência, amor e carinho que nunca deixaram de me oferecer.

Aos professores do Centro de Educação, Centro de Ciências Rurais e Geociências pelos conhecimentos transmitidos, em especial, Waterloo Pereira Filho pelo companheirismo, responsabilidade e dedicação na orientação de trabalhos.

A todos os colegas do Laboratório de Geotecnologias (Labgeotec) da Universidade Federal de Santa Maria pela colaboração, apoio e amizade em todos os momentos.

A Secretaria do Meio Ambiente, agência de Santa Maria, pelo apoio logístico.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Centro Regional Sul – INPE/CRS por disponibilizar o ambiente de estudos e pesquisas.

A Universidade Federal de Santa Maria, pela possibilidade de cursar um Ensino de Pós-Graduação gratuito e de qualidade.

E a todos os que contribuíram para a realização deste trabalho.

## EPÍGRAFE

*“Há pessoas que transformam o sol numa simples mancha amarela. Mas há, também, aquelas que fazem de uma simples mancha amarela, o próprio Sol.”*

(Pablo Picasso)

## RESUMO

### **AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS INTERAÇÕES ENTRE O AMBIENTE TERRESTRE/AQUÁTICO E EFEITOS DO BARRAMENTO NO ALTO CURSO DO RIO IBICUÍ-MIRIM NAS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA**

AUTOR: DIEGO DE ALMEIDA PRADO  
ORIENTADOR: WATERLOO PEREIRA FILHO

Esta pesquisa tem a perspectiva de fornecer subsídios para um melhor planejamento para ações futuras que envolvam a gestão dos recursos hídricos bem como auxiliar na manutenção de reservatórios artificiais, pois, a formação de reservatórios apresenta influência no clima, na geomorfologia e na ecologia em escala local, alterando a fauna e a flora existentes no ambiente aquático e terrestre. Nesse contexto, foi lançada a hipótese para identificar o que modifica na dinâmica de variáveis limnológicas das drenagens de uma bacia hidrográfica com a construção de um ambiente lântico. Esta pesquisa tem como principal objetivo analisar a influência do reservatório Rodolfo Costa e Silva no sistema hídrico do alto curso do rio Ibicuí-Mirim. Tem como área de estudo a bacia hidrográfica do reservatório Rodolfo Costa e Silva situado no rio Ibicuí-Mirim, localizado na região Central do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil e abrange os municípios de Itaara e São Martinho da Serra. O reservatório é utilizado para o sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário da área urbana da cidade de Santa Maria e é operado pela CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento. Com a utilização de variáveis limnológicas, produtos orbitais, material cartográfico, softwares de geoprocessamento e dados pluviométricos a metodologia da pesquisa propõe enfatizar e quantificar dados dos ambientes terrestre e aquático através da interpretação e análise integrada das relações espaço-temporais que ocorrem nesses ambientes. Nesta pesquisa foram utilizadas as variáveis limnológicas temperatura do ar, temperatura da água, Condutividade Elétrica, Totais de Sólidos Dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de Sólidos em Suspensão e Potássio. Nos resultados foi levado em consideração a análise dos dados de relevo, a análise dos dados de uso da terra, a análise do comportamento das variáveis limnológicas das drenagens da sessão montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, a análise de dados pluviométricos e a análise estatística dos dados limnológicos obtidos a partir dos processamentos das amostras da bacia hidrográfica estudada. Quanto ao uso da terra verificou-se que nas quatro imagens analisadas, referente às quatro missões de campo, foram constatadas intensas atividades agrícolas na sessão a montante do reservatório e na área de preservação na sessão jusante do reservatório, com pequenas quantidades de matas-galerias nas proximidades de praticamente todas as drenagens, mais intensas na sessão jusante e mais devastadas na sessão montante, onde há maior prática agrícola. Na análise dos dados das variáveis limnológicas foi verificado que praticamente em todas as datas de coletas ocorreram alterações nos dados limnológicos, provavelmente relacionado a mudança do ambiente lótico para o ambiente lântico e novamente para o ambiente lótico, ao qual proporciona diferentes intensidades de radiação solar elevando as temperaturas superficiais da água e também devido ao abastecimento de novas drenagens no fluxo principal da bacia hidrográfica. Logo na sequência da drenagem a jusante do reservatório, observa-se uma certa tendência de estabilidade em todos os dados limnológicos analisados nesta pesquisa. Isto pode estar relacionado ao fato de que a região a jusante do reservatório pertence à reserva biológica Ibicuí-Mirim.

**Palavras-chaves:** Água. Sistema de Informação Geográfica. Limnologia. Uso da Terra. Recursos naturais. Sensoriamento Remoto. Drenagens.

## ABSTRACT

### **SPACE-TEMPORAL EVALUATION OF THE INTERACTIONS BETWEEN THE TERRESTRIAL / AQUATIC ENVIRONMENT AND EFFECTS OF THE BUS AT THE HIGH IBICUÍ-MIRIM RIVER COURSE IN WATER CHARACTERISTICS**

AUTHOR: DIEGO DE ALMEIDA PRADO  
ADVISOR: WATERLOO PEREIRA FILHO

This research has the perspective of providing subsidies for a better planning for future actions that involve the management of water resources as well as help in the maintenance of artificial reservoirs, since the formation of reservoirs has influence on climate, geomorphology and ecology on a local scale, changing the fauna and flora existing in the aquatic and terrestrial environment. In this context, the hypothesis was developed to identify what modifies the dynamics of limnological variables of the drainage of a river basin with the construction of a lentic environment. This research has as main objective to analyze the influence of the reservoir Rodolfo Costa e Silva in the water system of the upper course of the Ibicuí-Mirim river. The research has as its study area the river basin of the Rodolfo Costa e Silva reservoir located on the Ibicuí-Mirim river, located in the Central region of the State of Rio Grande do Sul - Brazil and covers the municipalities of Itaara and São Martinho da Serra. The reservoir is used for the water supply and sewage system of the urban area of the city of Santa Maria and is operated by CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento. By using limnological variables, orbital products, cartographic material, geoprocessing software and pluviometric data, the research methodology proposes to emphasize and quantify the data of terrestrial and aquatic environment through the interpretation and integrated analysis of the spatio-temporal relations that occur in these environments. In this research the limnological variables were used, as well as air temperature, water temperature, electrical conductivity, total of dissolved solids, hydrogenation potential, turbidity, total of suspended solids and potassium. In the results of this research was taken into account the analysis of the data of relief, the analysis of data of the land use, the analysis of the behavior of the limnological variables of the upstream and downstream drains of the Rodolfo Costa e Silva reservoir, the analysis of rainfall data, by considering thirty days of cumulative rainfall, preceded the field missions and the statistical analysis of the limnological data obtained from the processing of the samples of the hydrographic basin studied. Regarding land use, it was verified that in the four analyzed images, referring to the four field missions, in all of them an intense agricultural activity was verified in the session upstream of the reservoir and preservation area in the downstream section of the reservoir, with small amounts of woods-galleries in the vicinity of practically all the drainage, more intense in the downstream session and more devastated in the upstream session, where there is greater agricultural practice. In the analysis of the data of the limnological variables, it was verified that practically in all the dates of collection occurred changes in the limnological data, probably related to the change of the lotic environment to the lentic environment and again to the lotic environment, which provides different intensities of solar radiation raising the surface water temperatures and also due to the provision of new drainage in the main stream of the river basin. Thus the downstream drainage of the reservoir, a certain trend of stability is observed in all the limnological data analyzed in this research. This may be related to the fact that the region downstream of the reservoir belongs to the biological reserve Ibicuí-Mirim.

**Keywords:** Water. Geographic Information System. Limnology. Land use. Natural resources. Remote Sensing. Drainages.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul.....	21
Figura 2 – Mapa de solos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, conforme classificação dos tipos de solos do estado do rio Grande do Sul. ....	22
Figura 3 – Mapa de geologia da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, conforme classificação das formações geológicas do estado do rio Grande do Sul.....	23
Figura 4 – Mapa dos Biomas da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, conforme classificação brasileira do IBGE/MMA.....	25
Figura 5 – Croqui do sistema de abastecimento de água de Santa Maria-RS. ....	27
Figura 6 – Espectro eletromagnético.....	40
Figura 7 – Fluxograma com a representação da sequência das atividades desenvolvidas na pesquisa ..	49
Figura 8 – Localização dos pontos amostrais na área de estudo do Reservatório Rodolfo Costa e Silv	50
Figura 9 – Coleta da amostra no ponto 3. ....	53
Figura 10 – Coleta da amostra no ponto 5.....	54
Figura 11 – Coleta da amostra no ponto 8.....	54
Figura 12 – Coleta da temperatura da água diretamente no ponto amostral.....	55
Figura 13 – a) Bomba a vácuo e b) Filtro de fibra de vidro e celulose.....	56
Figura 14 – Balança analítica de alta precisão utilizada para pesagem dos filtros de celulose. ....	57
Figura 15 – Mapa de localização das estações meteorológicas, com coleta de dados pluviométricos históricos do INMET, mais significativas para a área de estudo.....	64
Figura 16 – Mapa Clinográfico da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	68
Figura 17 – Mapa de Orientação de Vertentes da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	70
Figura 18 – Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	72
Figura 19 – Classificação de uso da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva – campo 1 (07/08/2015). ....	74
Figura 20 – Classificação de uso da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva – campo 2 (20/11/2015).....	76
Figura 21 – Classificação de uso da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva – campo 3 (11/01/2018).....	78
Figura 22 – Classificação de uso da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva – campo 4 (07/05/2018).....	80
Figura 23 – Gráfico dos usos da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva nos períodos de coletas de dados.....	81
Figura 24 – Índices pluviométricos observados em 30 dias anteriores à realização dos trabalhos do campo 1 (07/08/2015).....	82
Figura 25 – Índices pluviométricos observados em 30 dias anteriores à realização dos trabalhos do campo 2 (20/11/2015).....	83
Figura 26 – Índices pluviométricos observados em 30 dias anteriores à realização dos trabalhos do campo 3 (11/01/2018).....	83
Figura 27 – Índices pluviométricos observados em 30 dias anteriores à realização dos trabalhos do campo 4 (07/05/2018).....	84
Figura 28 – Volume pluviométrico acumulado na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva em trinta dias anteriores aos trabalhos de campo. ....	85
Figura 29 – Comportamento da variável temperatura do ar nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	87
Figura 30 – Distribuição espacial da variável limnológica temperatura do ar para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	89
Figura 31 – Comportamento da variável limnológica temperatura da água nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	91

Figura 32 – Distribuição espacial da variável limnológica temperatura da água para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	92
Figura 33 – Comportamento da variável limnológica condutividade elétrica nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	93
Figura 34 – Distribuição espacial da variável limnológica condutividade elétrica para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	95
Figura 35 – Comportamento da variável limnológica totais de sólidos dissolvidos nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	97
Figura 36 – Distribuição espacial da variável limnológica totais de sólidos dissolvidos para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	99
Figura 37 – Comportamento da variável limnológica potencial hidrogeniônico nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	101
Figura 38 – Distribuição espacial da variável limnológica potencial hidrogeniônico para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	103
Figura 39 – Comportamento da variável limnológica turbidez nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	105
Figura 40 – Distribuição espacial da variável limnológica turbidez para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	107
Figura 41 – Comportamento da variável limnológica totais de sólidos em suspensão nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	109
Figura 42 – Distribuição espacial da variável limnológica totais de sólidos em suspensão nos quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	110
Figura 43 – Comportamento da variável limnológica totais de sólidos dissolvidos nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	112
Figura 44 – Distribuição espacial da variável limnológica potássio para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	113
Figura 45 – Medida de tendência central por campo dos dados de temperatura do ar da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	118
Figura 46 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de temperatura do ar da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	118
Figura 47 – Medida de tendência central por campo dos dados de temperatura da água da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	119
Figura 48 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de temperatura da água da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	119
Figura 49 – Medida de tendência central por campo dos dados da condutividade elétrica da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	120
Figura 50 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de condutividade elétrica da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	120
Figura 51 – Medida de tendência central por campo dos dados de totais de sólidos dissolvidos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	121
Figura 52 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de totais de sólidos dissolvidos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	121
Figura 53 – Medida de tendência central por campo dos dados de potencial hidrogeniônico da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	122
Figura 54 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de potencial hidrogeniônico da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	122
Figura 55 – Medida de tendência central por campo dos dados de turbidez da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	123
Figura 56 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de turbidez da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. ....	123

Figura 57 – Medida de tendência central por campo dos dados de totais de sólidos suspensos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	124
Figura 58 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de totais de sólidos suspensos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	124
Figura 59 – Medida de tendência central por campo dos dados de potássio da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	125
Figura 60 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de potássio da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	125
Figura 61 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva - campo 1 (07/08/2015).....	129
Figura 62 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva - campo 2 (20/11/2015).....	130
Figura 63 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva - campo 3 (11/01/2018).....	131
Figura 64 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva - campo 4 (07/05/2018).....	132



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Detalhes das características técnicas do satélite Resourcesat 2.....	58
Quadro 2 – Detalhes das características técnicas das bandas espectrais e resoluções do satélite Resourcesat 2.....	59
Quadro 3 – Detalhes das características técnicas do satélite Sentinel 2.....	60
Quadro 4 – Detalhes das características técnicas das bandas espectrais e resoluções do satélite Sentinel 2.....	60
Quadro 5 – Detalhamento das datas de coletas de dados limnológicos em relação aos satélites.....	61
Quadro 6 – Tipos de amostras coletadas conforme cada classe temática.....	61
Quadro 7 – Estações pluviométricas mais próximas da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.....	64

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Classificação do Mapa Clinográfico. ....	67
TABELA 2 – Classificação do Mapa de Orientação de Vertentes. ....	69
TABELA 3 – Classificação do Mapa Hipsométrico. ....	71
TABELA 4 – Classificação do Mapa de Uso da Terra - campo 1 (07/08/2015). ....	73
TABELA 5 – Classificação do Mapa de Uso da Terra - campo 2 (20/11/2015). ....	75
TABELA 6 – Classificação do Mapa de Uso da Terra - campo 3 (11/01/2018). ....	77
TABELA 7 – Classificação do Mapa de Uso da Terra - campo 4 (07/05/2018). ....	79
TABELA 8 – Comparação entre as variáveis limnológicas entre as sessões montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, campo 1 (07/08/2015). ....	135
TABELA 9 – Comparação entre as variáveis limnológicas entre as sessões montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, campo 2 (20/11/2015). ....	135
TABELA 10 – Comparação entre as variáveis limnológicas entre as sessões montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, campo 3 (11/01/2018). ....	135
TABELA 11 – Comparação entre as variáveis limnológicas entre as sessões montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, campo 4 (07/05/2018). ....	136

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS .....	18
1.1.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>18</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>19</b>
1.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>28</b>
2.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	28
2.2	RESERVATÓRIOS.....	30
2.3	VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS.....	31
2.3.1	<b>Temperatura do Ar .....</b>	<b>33</b>
2.3.2	<b>Temperatura da Água.....</b>	<b>33</b>
2.3.3	<b>Condutividade Elétrica .....</b>	<b>34</b>
2.3.4	<b>Totais de Sólidos Dissolvidos .....</b>	<b>35</b>
2.3.5	<b>Potencial Hidrogeniônico .....</b>	<b>36</b>
2.3.6	<b>Turbidez .....</b>	<b>36</b>
2.3.7	<b>Total de Sólidos em Suspensão .....</b>	<b>37</b>
2.3.8	<b>Potássio .....</b>	<b>38</b>
2.4	SENSORIAMENTO REMOTO .....	38
2.5	MAPAS TEMÁTICOS .....	41
2.5.1	<b>Mapa Clinográfico.....</b>	<b>42</b>
2.5.2	<b>Mapa de Orientação de Vertentes.....</b>	<b>42</b>
2.5.3	<b>Mapa Hipsométrico .....</b>	<b>43</b>
2.5.4	<b>Mapa de Uso da Terra .....</b>	<b>44</b>
2.6	DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....	44
2.7	ABORDAGEM ESTATÍSTICA.....	45
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>47</b>
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	47
3.1.1	<b>Dados Coletados em Campo .....</b>	<b>47</b>
3.1.2	<b>Produtos Orbitais .....</b>	<b>47</b>
3.1.3	<b>Material Cartográfico .....</b>	<b>47</b>
3.1.4	<b>Softwares .....</b>	<b>48</b>
3.1.5	<b>Dados Pluviométricos.....</b>	<b>48</b>
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	48
3.2.1	<b>Mapas Temáticos .....</b>	<b>51</b>
3.2.1.1	<i>Elaboração do mapa clinográfico.....</i>	<i>51</i>
3.2.1.2	<i>Elaboração do mapa orientação de vertentes.....</i>	<i>51</i>
3.2.1.3	<i>Elaboração do mapa hipsométrico.....</i>	<i>52</i>
3.2.2	<b>Trabalho de Campo.....</b>	<b>52</b>
3.2.3	<b>Determinação das Variáveis Limnológicas em Laboratório .....</b>	<b>55</b>
3.2.4	<b>Processamento Digital de Imagens.....</b>	<b>58</b>
3.2.5	<b>Espacialização das variáveis limnológicas.....</b>	<b>62</b>
3.2.6	<b>Tratamento Estatístico .....</b>	<b>62</b>
3.2.7	<b>Dados Pluviométricos .....</b>	<b>63</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
4.1	ANÁLISE DOS MAPAS TEMÁTICOS .....	66
4.1.1	<b>Mapa Clinográfico.....</b>	<b>66</b>
4.1.2	<b>Mapa de Orientação de Vertentes.....</b>	<b>68</b>
4.1.3	<b>Mapa Hipsométrico .....</b>	<b>70</b>

<b>4.1.4</b>	<b>Mapas de Uso da Terra .....</b>	<b>72</b>
<b>4.2</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....</b>	<b>81</b>
<b>4.3</b>	<b>ANÁLISE DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS .....</b>	<b>86</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Temperatura do Ar .....</b>	<b>86</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Temperatura da Água .....</b>	<b>90</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Condutividade Elétrica .....</b>	<b>93</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Totais de Sólidos Dissolvidos.....</b>	<b>96</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Potencial Hidrogeniônico .....</b>	<b>100</b>
<b>4.3.6</b>	<b>Turbidez.....</b>	<b>104</b>
<b>4.3.7</b>	<b>Totais de Sólidos em Suspensão .....</b>	<b>108</b>
<b>4.3.8</b>	<b>Potássio.....</b>	<b>111</b>
<b>4.4</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>114</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Medida de tendência central e Dispersão .....</b>	<b>114</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Correlação Entre as Variáveis Limnológicas .....</b>	<b>126</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Comparação Entre as Variáveis Limnológicas nas Diferentes Sessões .....</b>	<b>133</b>
<b>4.5</b>	<b>ANÁLISE INTEGRADA ENTRE O AMBIENTE TERRESTRE E O AMBIENTE AQUÁTICO, E O PAPEL DO RESERVATÓRIO .....</b>	<b>137</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>140</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>146</b>

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa tem a perspectiva de fornecer subsídios para um melhor planejamento social relacionado a ações futuras que envolvam a gestão dos recursos hídricos bem como auxiliar na manutenção de reservatórios artificiais, tendo em vista que a formação de reservatórios apresenta influência no clima, na geomorfologia e na ecologia em escala local, alterando a fauna e a flora existentes no ambiente aquático e terrestre.

As águas do reservatório Rodolfo Costa e Silva são originárias da porção nordeste da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul. As áreas possuem altitudes mais elevadas da bacia hidrográfica, região onde o relevo favorece os processos de erosão, mais ricas em sedimentos e sais minerais dissolvidos.

De modo geral, a temática deste trabalho envolveu indagações sobre variáveis limnológicas de águas a montante e a jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva com o intuito de discriminar o comportamento de cada uma dessas variáveis analisadas neste trabalho de pesquisa. Para isso, foi estabelecido objetivos acerca do problema a ser solucionado, também envolveu a coleta e análise de dados limnológicos, processamento em laboratório, análises de mapas de relevo, análise pluviométrica, análise estatística e análise integrada entre os ambientes terrestre e aquático que foram envolvidos nesta pesquisa.

Tendo em vista o uso intenso de reservatórios artificiais de água e em função do desenvolvimento industrial e socioeconômico, as principais bacias hidrográficas brasileiras foram reguladas pela construção de reservatórios com a finalidade de geração de energia hidrelétrica, que corresponde a 85% do total da energia produzida no país. Entretanto, os reservatórios isoladamente ou em cascata constituem um importante impacto qualitativo e quantitativo nos principais ecossistemas de água doce (ESTEVES, 1998; TUNDISI, 2005; TUNDISI et al., 2006-a).

A preocupação com o aumento da necessidade de água para o abastecimento doméstico, industrial, irrigação, lazer e, principalmente, geração de energia elétrica, faz com que, a maioria das atividades humanas seja cada vez mais dependente da disponibilidade das águas continentais (ESTEVES, 1998). Com o aumento na demanda de abastecimento para tais usos, após 1950 foi estimulada a construção de reservatórios no Brasil. Os reservatórios cumprem diversos objetivos, como, o de controle de inundações, a captação de águas para irrigação, abastecimento de cidades, de navegação fluvial e a produção de peixes em tanques-redes incentivados pelo governo, sendo assim, identificada a possibilidade de uso múltiplo das barragens (BAPTISTA et al., 2001).

No Estado do Rio Grande do Sul, a CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, tem construído reservatórios para abastecimento, principalmente para médios e grandes centros urbanos. Como exemplo na região central do estado, destaca-se o reservatório Rodolfo Costa e Silva, que é uma das fontes de água usadas para abastecer a cidade de Santa Maria. A qualidade da água do reservatório tem implicações diretas no processo de tratamento e no custo da água (BABBITT et al., 1973; RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1998). Esse reservatório apresenta a bacia hidrográfica ocupada por áreas agrícolas e pastoris, as quais têm potencial de disponibilizar uma grande quantidade de nutrientes para o sistema aquático (WACHHOLZ, 2007).

De acordo com Mota (1997), nas relações com outras variáveis limnológicas, a clorofila *a* provoca mudanças de sabor, odor, turbidez, cor e aumento da matéria orgânica, além de influenciar no potencial hidrogeniônico (PH) e oxigênio da água. No ecossistema aquático, os principais indicadores da clorofila *a* representam a produtividade biológica no sistema, pois concebe o principal pigmento das algas e cianobactérias (LONDE et al., 2005).

Conforme Paiva e Paiva (2001) a temperatura influencia em processos físicos, químicos e biológicos em corpos d'água, afetando as concentrações de diversas variáveis. O aumento de temperatura é acompanhado pelo aumento da velocidade de reações químicas e por redução da solubilidade de gases na água. O aumento da temperatura também causa o aumento da demanda de oxigênio e da decomposição de matéria orgânica. Na presença de nutrientes, o aumento de temperatura, resulta em aumento de crescimento de macrófitas e da floração de algas.

A água possui componentes opticamente ativos, especialmente o Total de Sólidos em Suspensão (TSS) que influenciam no espectro de reflectância. A principal contribuição desse componente para aumento da reflectância está no processo de espalhamento, principalmente em comprimentos de onda da faixa do vermelho. Estudos realizados por Pereira Filho e Galvão (1997) encontraram correlação entre o total de sólidos em suspensão e a reflectância das bandas do visível (Banda 1, 2 e 3 - TM LANDSAT 5) no Reservatório de Passo Real – RS.

A água é um dos recursos que está sofrendo grandes alterações em suas características naturais, assim a necessidade de preservação desse recurso natural faz com que pesquisadores estejam em constante busca de informações sobre esse recurso, de forma a impedir que problemas decorrentes da poluição da água venham a comprometer seu aproveitamento múltiplo e integrado, de forma a colaborar para a minimização dos impactos negativos ao meio ambiente. De acordo com Jobin (1998), a construção de um reservatório define padrões hidrodinâmicos, com implicações diretas no deslocamento e na concentração de sólidos em suspensão, na temperatura, na disponibilidade de alimentos e nos habitats da fauna e flora aquáticos. Este impacto também é verificado a jusante e montante do reservatório (ESTEVES, 1998).

A conservação dos ecossistemas aquáticos continentais, prevendo a utilização racional com o controle da qualidade e quantidade da água, é uma das preocupações centrais da limnologia (ESTEVES, 1998). Esses ecossistemas podem apresentar áreas vulneráveis à deterioração e, se identificadas, facilitam o seu monitoramento. A disponibilidade de nutrientes pode ser indicada pelo seu estado trófico.

A pesquisa que envolve questões ambientais sobre o espaço geográfico, é usado principalmente a partir da década de 1970 e abrange sentidos diferentes, conforme a importância dada às características físicas na análise do espaço pelos geógrafos. O conceito de espaço geográfico procura restabelecer o objeto de estudo da geografia, que tem por vocação, compreender a maneira como as sociedades se apropriam do espaço em que vivem, podendo ser definido como “um espaço ordenado, modelado, produzido pelas sociedades, pelas suas atividades, mas também pelo meio natural e pelas heranças históricas” (DANTAS & MORAES, 2012).

Ao analisar os ambientes terrestre e aquático da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva podemos entender a dinâmica de cada ambiente e verificar que cada ecossistema possui características próprias. Por exemplo, a comunidade de seres vivo que habita uma área de cobertura vegetal mais intensa é diferente da comunidade de seres vivos que habita um ambiente aquático e que também é diferente de onde há ausência de águas correntes e vegetação preservada. Essas diferenças no meio em que cada ser vivo habita são importantes para determinar quais espécies de seres vivos são adaptadas para viver em cada local. Os ecossistemas terrestres são pequenas partes da terra habitadas por um conjunto de seres vivos que interagem com as características ambientais próprias daquela determinada região.

Dessa forma, um ecossistema pode ser entendido como o conjunto dos organismos vivos e seus ambientes físicos e químicos que integram os fatores bióticos e abióticos. As áreas de preservação de florestas são ambientes com grande quantidade de árvores nativas, nos quais formam um habitat natural para uma grande parte de seres vivos. Tais regiões florestais são os ecossistemas terrestres mais ricos em biodiversidade do planeta e por isso, representam ecossistemas altamente complexos devido às inúmeras relações ecológicas existentes. No entanto, estes ambientes estão cada vez mais em risco, devido principalmente aos danos ambientais, em virtude do avanço das práticas agrícolas cada vez mais intensas, motivadas principalmente pela ambição econômica de alguns membros da sociedade humana. Nessa perspectiva, Andrade (1992), afirma que o meio ambiente pode ser entendido como o palco das relações entre o homem e a natureza no curso do desenvolvimento do processo produtivo, sendo que a dinâmica do desenvolvimento das forças produtivas e das relações de produção provocará

conflitos sociais e impactos ambientais, determinados na apropriação da natureza pela sociedade.

Em trabalhos semelhantes, Demangeot (2000), expõe que uma questão importante é saber determinar em que nível de intervenção antrópica o meio deixa de ser natural. De modo a responder essa questão, tarefa nada fácil, acredita-se que até a fase em que o homem descobre a agricultura, com as sociedades cultivando espécies locais ou aclimatas, com técnicas simples e não poluentes, o meio natural é reconhecido. Sendo assim, o meio já não é mais natural.

Em contrapartida a todas estas situações, a construção de estruturas físicas que interrompem e represam um curso natural de água de uma drenagem, a qual comumente são chamados de reservatórios de água, são de extrema necessidade para os seres humanos. Suas principais finalidades são para acumulação de água, hidroeleticidade, disposição final ou temporária de rejeitos minerais, disposição de resíduos industriais, dentre outros, os quais são praticamente necessidades vitais para as sociedades humanas atuais.

Nesse contexto, surgiu a principal indagação desta pesquisa: o que modifica na dinâmica de variáveis limnológicas das drenagens de uma bacia hidrográfica com a construção de um ambiente lântico? A hipótese é que a inserção de um ambiente lântico numa drenagem modifica a dinâmica natural das variáveis limnológicas do ecossistema local, tornando diferentes os dados de jusante em relação aos de montante do reservatório.

A região hídrica superficial das proximidades do reservatório Rodolfo Costa e Silva foi escolhida para o desenvolvimento desta pesquisa com base na sua grande importância econômica, social e ambiental para a região central do estado do Rio Grande do Sul. O reservatório artificial de água é indispensável para realizar o armazenamento e fornecimento de água para a cidade de Santa Maria. Sendo assim, a seguir foi proposto alguns objetivos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a influência do reservatório Rodolfo Costa e Silva no sistema hídrico do alto curso do rio Ibicuí-Mirim.



### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar em escala espacial e temporal as variáveis limnológicas temperatura do ar, temperatura da água, Condutividade Elétrica, Totais de Sólidos Dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de Sólidos em Suspensão e Potássio das drenagens do reservatório Rodolfo Costa e Silva;
- Identificar as relações e correlações das variáveis limnológicas nas drenagens do reservatório com as características de relevo e hidrografia da área de captação, de acordo com as suas condições do uso da terra e dados pluviométricos da bacia hidrográfica que o drena;
- Relacionar os dados limnológicos a jusante com os dados de montante do reservatório, com intuito de compreender a interferência do ambiente lêntico no ecossistema lótico do rio Ibicuí-Mirim.
- Analisar integradamente o ambiente terrestre e o ambiente aquático para entender as alterações nas características da água decorrentes da construção de um reservatório.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

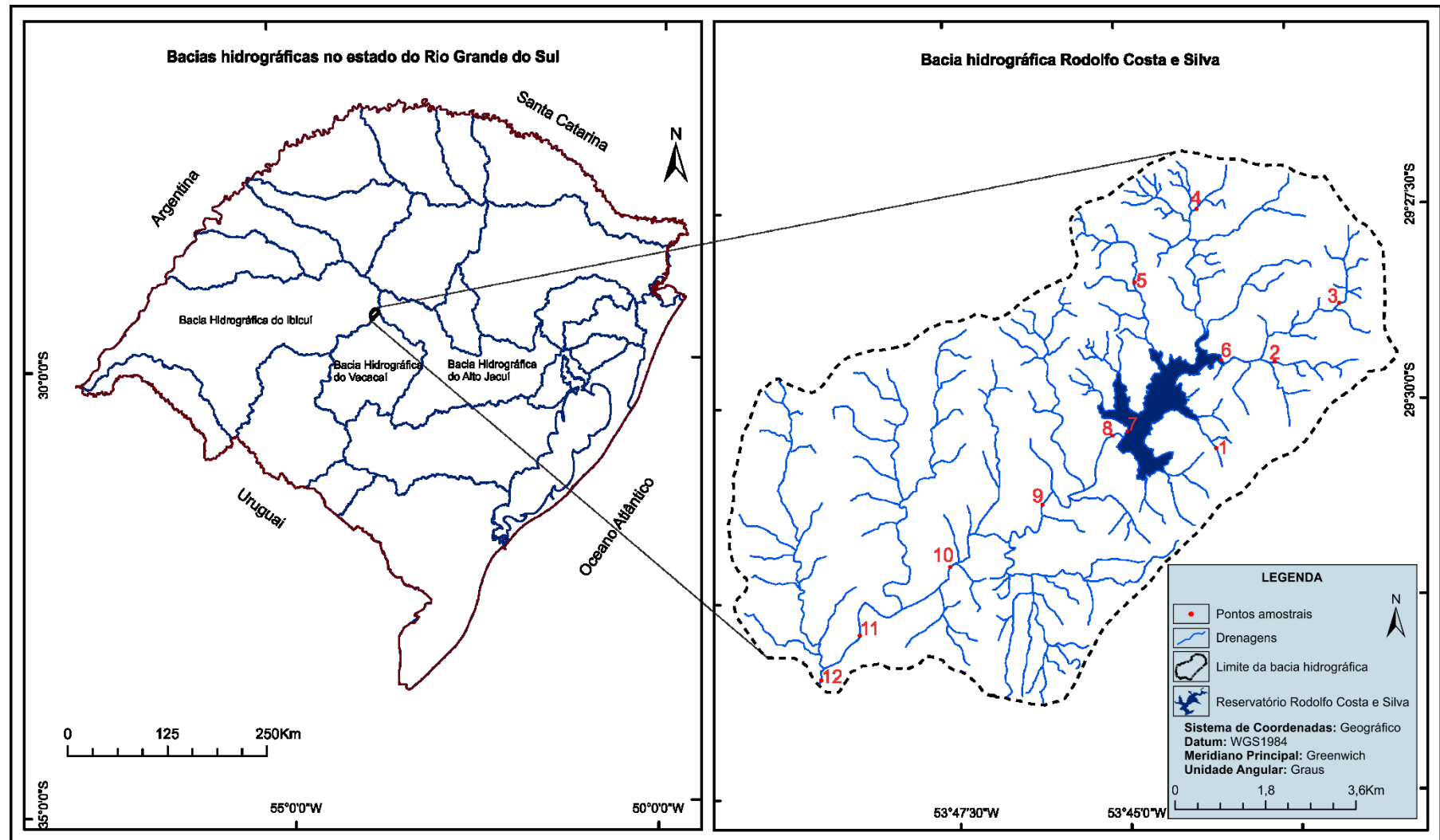
Tendo em vista os impactos das atividades antrópicas praticadas em bacias hidrográficas e conseqüentemente nas características da água de rios e reservatórios, esta pesquisa tem como área de estudo a bacia hidrográfica do reservatório Rodolfo Costa e Silva situado no rio Ibicuí-mirim, localizado na região Central do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil (Figura 1). Geograficamente, a área de estudo pertence aos municípios de Itaara e São Martinho da Serra, localizada no Planalto, região da Depressão Periférica Sul-rio-grandense. Localiza-se entre as coordenadas geográficas 53°41'00" a 53°48'00" de Longitude Oeste de Greenwich e 29°26'40" a 29°33'50" Latitude Sul, com área aproximada de 13.774 hectares. Em geral, as drenagens da área de estudo são de pequeno porte, apresentando leito menor de até aproximadamente 60 metros, considerando a distância transversal do rio, de uma margem a outra, na sessão a jusante do reservatório e de aproximadamente 5 metros na sessão a montante do reservatório, mais próximas às nascentes das drenagens da área em análise nesta pesquisa. O comprimento total das drenagens é de aproximadamente 210 quilômetros, considerando todos os tipos de rios perenes, independentemente de sua vasão, desde as nascentes até a sessão do ponto de coleta de amostras mais a jusante da área de estudo.

A área de captação hídrica deste trabalho de pesquisa que foi realizado nas proximidades do reservatório Rodolfo Costa e Silva ficou denominada como bacia hidrográfica Rodolfo Costa

e Silva. A área envolve a porção territorial onde foram coletados os dados limnológicos, tanto na sessão a montante quanto na sessão a jusante do reservatório, considerando a região hidrográfica desde as nascentes até o ponto amostral mais a jusante da área de estudo.

A área de estudo encontra-se em uma região de clima subtropical úmido, com temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual que oscila em torno de 1500mm. A umidade média relativa do ar anual é de 80% (OES-INPE, 2006).

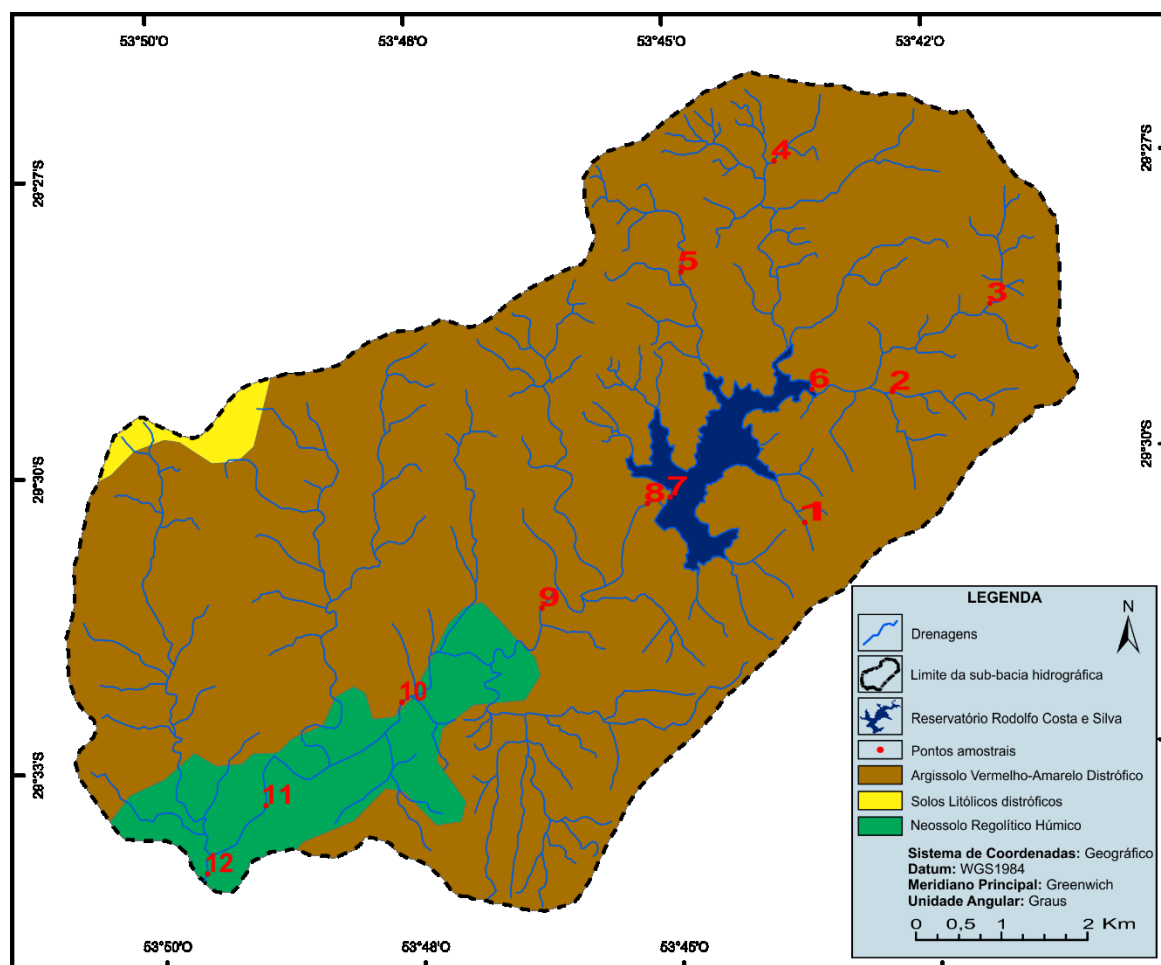
Figura 1 - Localização da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Próprio Autor.

Quando se trata da geomorfologia, a região está situada em uma área de transição entre o topo e o rebordo do planalto Meridional ou Arenito-basáltico (Formação Serra Geral) e a planície ou depressão Periférica Sul-Riograndense, com vertentes de baixas inclinações. As nascentes do rio principal dessa bacia hidrográfica estão em uma altitude em torno de 500 metros, tendo como ponto mais alto de toda a bacia a cota altimétrica com 516 metros; e a área no ponto amostral coletando mais próximo a foz das drenagens da área de estudo possui 222 metros de altitude. A área está localizada no planalto do sul-riograndense, onde as características da estrutura basáltica se refletem no tipo de solo avermelhado, predominantemente formado por solos Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico. Uma parte a sudoeste da bacia hidrográfica apresenta solo Neossolo Regolítico Húmico e uma pequena parte a noroeste da área de estudo apresenta solos Litólicos Distróficos (KÂMPF, 2008), conforme apresentado na Figura 2.

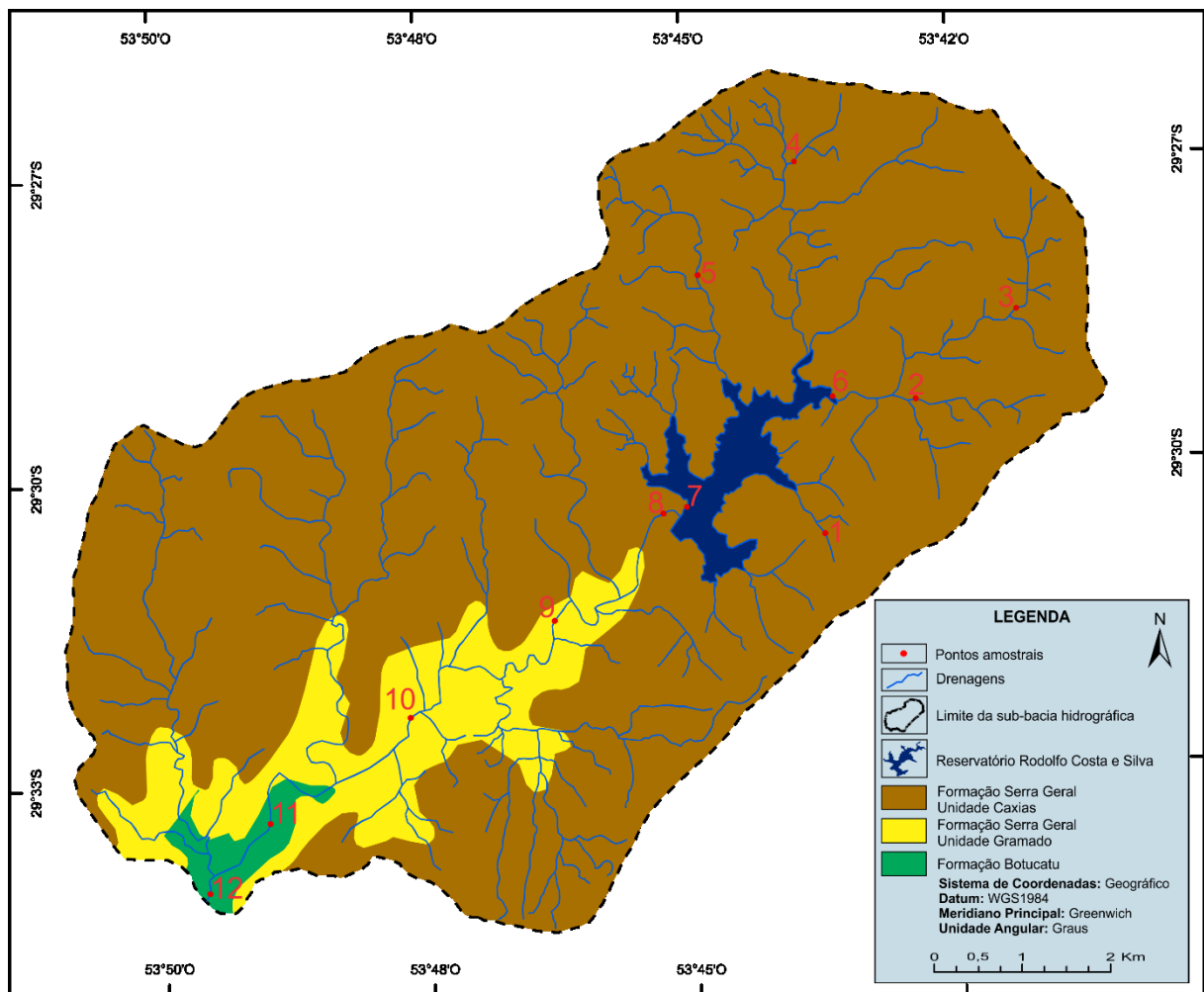
Figura 2 - Mapa de solos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, conforme classificação dos tipos de solos do estado do rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de KÂMPF, 2008.

Quanto a geologia, podemos observar na Figura 3 que a bacia hidrográfica está situada a maior parte de sua área em zona de rochas compostas pela Sequência Superior da Formação Serra Geral, a qual é formada principalmente por basaltos e fenobasaltos, englobando toda a porção a montante do reservatório e uma pequena parte a jusante do reservatório está composta pela Formação Botucatu (KÂMPF, 2008). O tipo de geologia que predomina nessas áreas são de composição ácida e, normalmente, revestem as rochas efusivas básicas, constituídas por riólitos feltsíticos, dacitos feltsíticos, riodacitos feltsíticos e seus componentes vítreos (FIBGE, 1986). A área compreende rochas vulcânicas ácidas e básicas, arenito botucatu, sedimentos mesozóicos da bacia do Paraná e sedimentos recentes nas áreas aluviais (SARTOR, 2008).

Figura 3 - Mapa de geologia da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, conforme classificação das formações geológicas do estado do rio Grande do Sul.



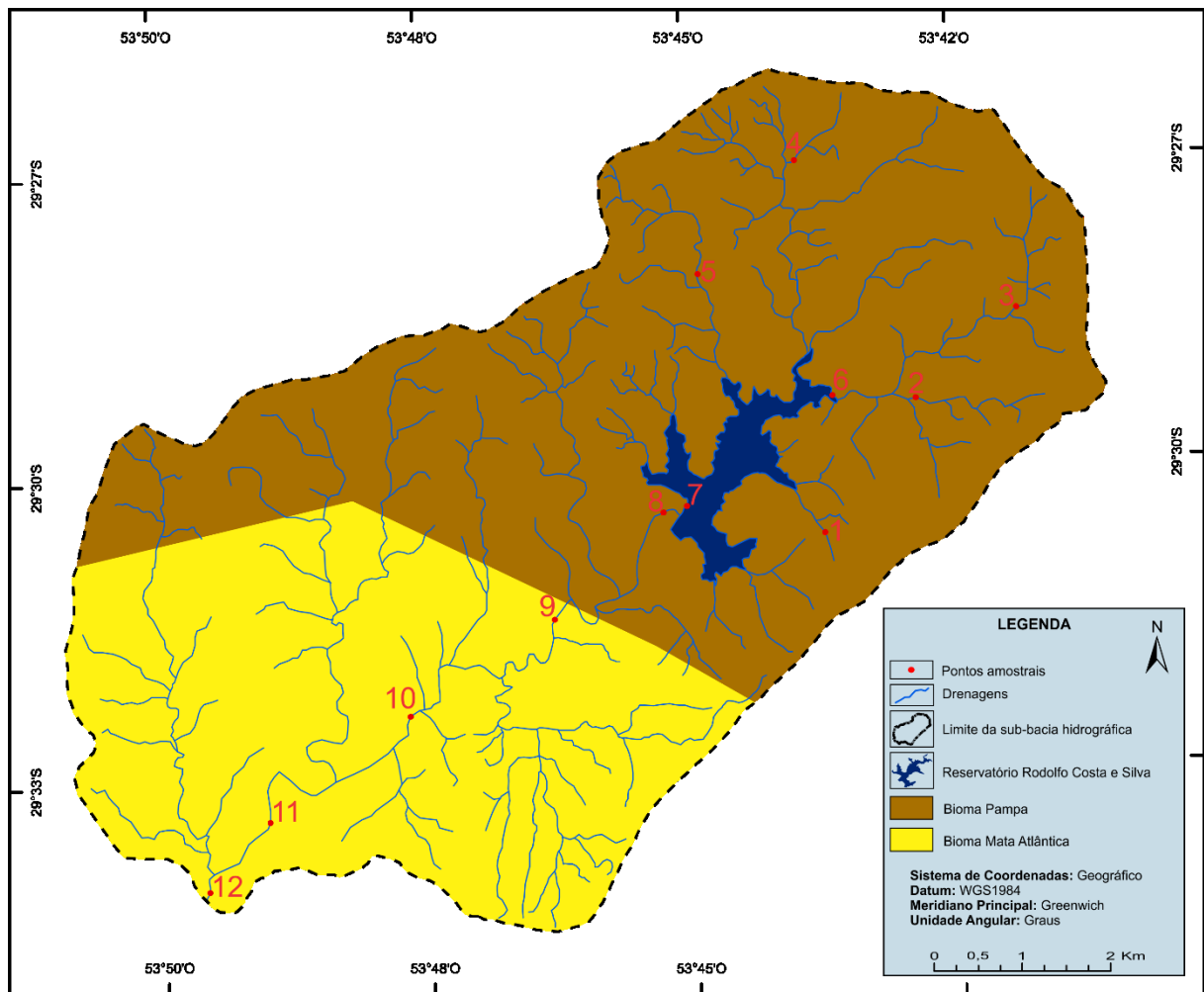
Fonte: Adaptado de KÂMPF, 2008.

A vegetação predominante na área de estudo é do tipo campos tendo também a presença de floresta, principalmente no rebordo do planalto Meridional, além das matas ciliares que ocorrem ao longo dos rios. Com a exploração econômica da área, a vegetação natural encontra-se muito modificada, com o cultivo de gramíneas para pastagens e a implantação de lavouras até mesmo nas áreas de encosta abrupta (MARCHIORI e NOAL FILHO, 1997).

A porção da vegetação natural da região é composta basicamente por formações florestais – Floresta Subtropical, latifoliada de espécies semi-caducifolias, encontrada no rebordo do planalto, ao longo dos vales, em regiões de grande declividade, compreendendo formações montanas e submontanas; formações campestres – campos cobertos por gramináceas contínuas, entremeadas de subarbustos isolados e formações especiais correspondentes às matas de galeria e vegetação ribeirinha (Ruoff et al, 2003).

Quanto aos biomas, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o território brasileiro apresenta 6 biomas, que são eles: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. O Mapa de Biomas (Figura 4) têm grande utilidade para a análise de cenários e tendências dos diferentes biomas. Como referência para o estabelecimento de políticas públicas diferenciadas e para o acompanhamento, pela sociedade, das ações implementadas. No caso da área de estudo em análise, esta apresenta dois biomas brasileiros, o Bioma Pampa da sessão intermediária até a parte a montante do reservatório Rodolfo Costa e Silva; o outro, é o Bioma Mata Atlântica, no qual está mais presente na sessão a jusante, sul da bacia hidrográfica. Nesta parte da bacia hidrográfica, está presente a reserva biológica do Ibicuí-Mirim, uma unidade de conservação do Bioma Mata Atlântica, reserva ambiental do estado do Rio Grande do Sul.

Figura 4 - Mapa dos Biomas da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, conforme classificação brasileira do IBGE/MMA.



Fonte: Adaptado de IBGE/MMA.

O tipo climático é identificado como sendo subtropical úmido, com estações bem definidas, média térmica anual de 19°C e ocorrência de geadas no inverno. O regime pluviométrico da região fica entre 1500 e 2000 mm/ano, com a presença de chuvas regulares do tipo frontal, ocorrendo pelo contato da massa de ar quente e úmida com a massa de ar fria e úmida. Apresenta possibilidades ocasionais de estiagens em qualquer período, sendo novembro o mês menos chuvoso e os meses de junho, setembro e outubro, os mais chuvosos (SARTORI, 2003).

Já quanto a ocupação antrópica da região, essa área foi ocupada primeiramente por espanhóis, com a catequização indígena e a formação da Estância de São Miguel, que, mais tarde, migrou para as margens do rio Uruguai. Essa redução data de 1605 e localizava-se nas cabeceiras dessa sub-bacia, no atual município de São Martinho da Serra (VIEIRA e RANGEL, 1983). A área serviu também como posto de guarnição, por ser considerada uma área de fronteira, entre Portugal e Espanha, devido ao Tratado de Tordesilhas. No baixo curso do rio Ibicuí-Mirim, já na depressão

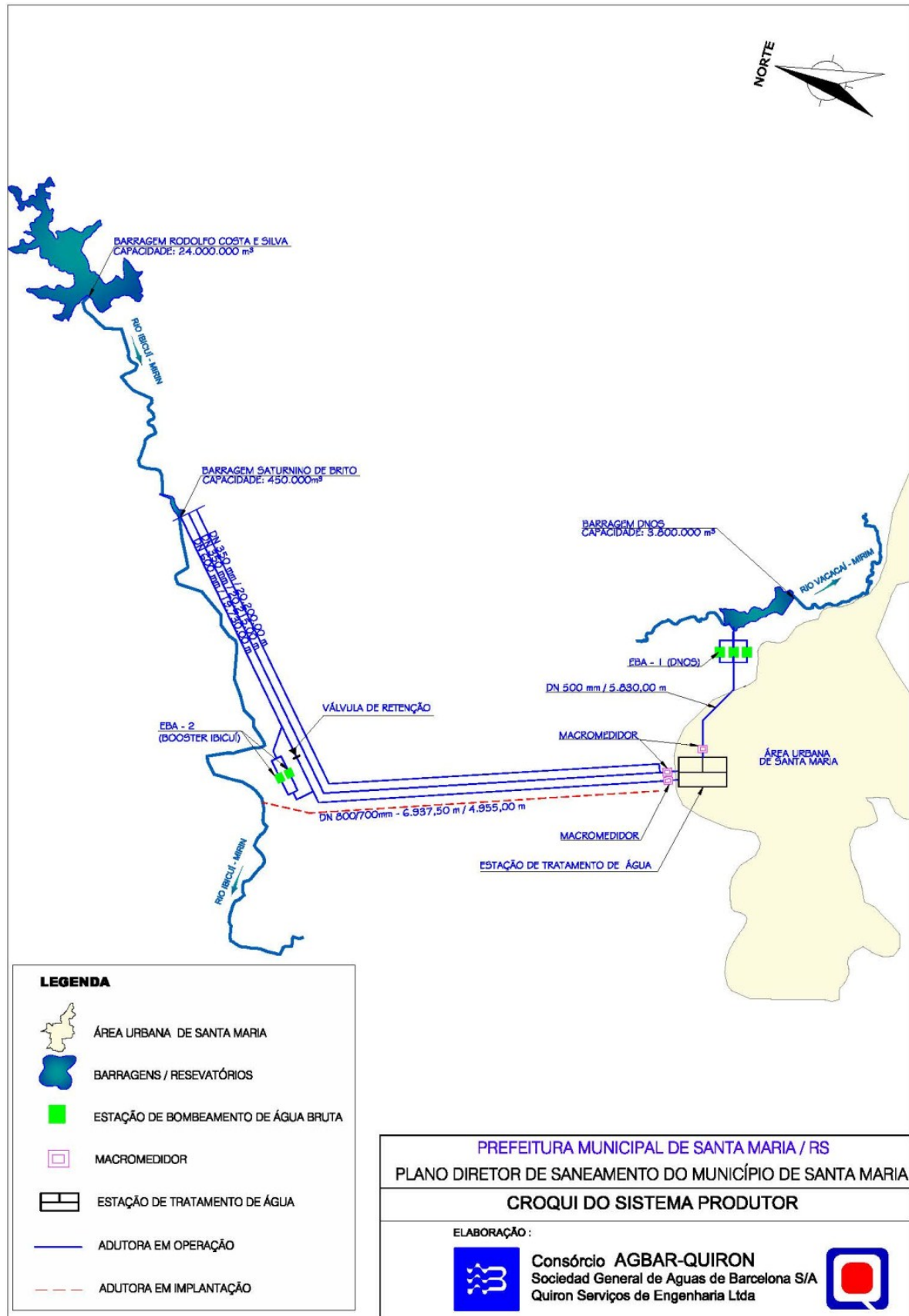
Periférica Sul-Riograndense, a ocupação humana tem por base a colonização portuguesa com a criação de gado e o estabelecimento de estâncias. No rebordo do planalto, a jusante do Reservatório, caracteriza-se a ocupação de pequenas áreas, denominadas colônias, que serviram para o assentamento de imigrantes e também como área de expansão da imigração italiana e alemã, com o desenvolvimento de policultura, direcionada ao consumo de subsistência dessas colônias e para o abastecimento de centros urbanos com o excedente. No baixo curso, o relevo predominante é o de planície, com a formação de solos aluviais, propícios ao cultivo da monocultura do arroz irrigado e da pecuária (SARTOR, 2008).

Segundo Sartor (2008), a atividade econômica predominante na bacia é a agropecuária, representado por cultivos anuais (soja, trigo e milho), áreas de campo destinadas à pastagem e pequenas áreas de vegetação arbórea a jusante do reservatório, especialmente de matas ciliares. Destaca-se que na margem direita (porção mais a oeste) do reservatório predominam áreas de pastagem e na margem esquerda (porção mais a leste) verifica-se um maior uso agrícola da terra. As áreas de mata são encontradas em maior quantidade especialmente junto as drenagens a jusante do reservatório. O reservatório de água Rodolfo Costa e Silva é utilizado para abastecer parcialmente a cidade de Santa Maria.

O sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário da área urbana da cidade de Santa Maria é operado pela CORSAN – Companhia Rio-grandense de Saneamento, decorrente do contrato de concessão datado de 30 de outubro de 1996 e prazo de vigência de 20 anos, conforme Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria publicado no ano de 2012. De acordo com a Companhia de Saneamento, o atual sistema de abastecimento (Figura 5) de água de Santa Maria é composto de duas captações superficiais. Uma no rio Ibicuí-Mirim com os reservatórios Rodolfo Costa e Silva (24.000.000m<sup>3</sup>) e Saturnino de Brito (450.000m<sup>3</sup>) e a outra captação no rio Vacacaí-Mirim com o reservatório DNOS - Departamento Nacional de Obras e Saneamento (3.800.000m<sup>3</sup>). A água bruta do rio Ibicuí-Mirim é aduzida de duas formas, por gravidade e bombeada para a única estação de tratamento existente, enquanto que a água bruta do rio Vacacaí-Mirim é aduzida somente através de uma estação elevatória. No total, 63% do abastecimento é feito por gravidade. A partir da estação de tratamento, a água tratada é aduzida para os reservatórios de grande porte, integrados entre si. Posteriormente faz-se a distribuição a outros reservatórios e a estações de bombeamentos localizados em bairros da área urbana e então a água tratada chega a uma população urbana de 248.347 habitantes (IBGE, Censo Demográfico 2010), através da rede de distribuição e suas ligações domiciliares.



Figura 5 – Croqui do sistema de abastecimento de água de Santa Maria-RS.



Fonte: Plano municipal de saneamento ambiental de Santa Maria - Volume II A – Sistema de abastecimento de água.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As maiores alterações provocadas nos ecossistemas, principalmente aquáticos, provêm das atividades desenvolvidas pela atividade humana no ambiente terrestre. Como exemplo, podemos citar a grande geração de resíduos industriais, a ausência de tratamento de esgotos, o manejo inadequado do solo, o uso indiscriminado de produtos químicos na agricultura, os acidentes com combustíveis fósseis, bem como lixo e animais mortos que são jogados diretamente nos mananciais de água (SARTOR, 2008). Dentre outras ações, essas atitudes colaboram para a poluição e contaminação da água causando doenças nos animais e no homem ao consumi-la.

Com o intuito de adquirir conhecimentos e buscar informações técnico-científicas, realizou-se a revisão bibliográfica conforme os assuntos abordados a seguir no decorrer desta pesquisa: bacias hidrográficas, reservatórios, variáveis limnológicas, sensoriamento remoto e mapas temáticos.

### 2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

O pesquisador Maksoud (1956), define uma bacia de drenagem, ou bacia hidrográfica, como “um conjunto de terrenos drenados por um curso d’água e seus tributários”. Semelhantemente a Lencastre & Franco (1984), que consideram a bacia hidrográfica uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água tal que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída; e também semelhante a Suguio e Bigarella (1990), que definem bacia de drenagem como “uma área abrangida por um rio ou por um sistema fluvial composto por um curso principal e seus tributários”.

Quando se trata da interação com o meio, os elementos que compõem o ecossistema são matéria e energia. Por exemplo, no sistema bacia/sub-bacia hidrográfica, a matéria é representada pela água e pelos detritos, e a energia corresponde às forças que fazem o sistema funcionar (CHRISTOFOLETTI, 1980). Conforme o autor expõe em seu trabalho, o ambiente deve ser visto como um conjunto de elementos interligados, que obedecem aos processos de estabilidade. Ele deve ser avaliado dentro de uma abordagem sistêmica, levando-se em consideração a escala espacial local, regional e nacional.

Guerra e Cunha (1996), consideram que as bacias hidrográficas estão interligadas pelos divisores topográficos, formando uma rede onde cada uma delas drena água, juntamente com material sólido e dissolvido para uma saída comum ou ponto terminal. Esse ponto comum pode ser outro rio de hierarquia igual ou superior, lago, reservatório ou oceano. As bacias recebem

energia fornecida pela atuação do clima e da tectônica locais, eliminando fluxos energéticos pela saída da água, sedimentos e solúveis, deduzindo-se que as bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas. As mudanças ocorridas no interior das bacias de drenagem podem ter causas naturais, porém, nos últimos anos, o homem tem sido o agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrios da paisagem.

A bacia hidrográfica é uma unidade espacial das mais importantes em análise de estudos da geografia física. Ela consiste no espaço geográfico que alimenta um curso de água e por ele é drenado (DEMANGEON, 2000). Cunha e Guerra (1999) apontam que esta unidade espacial permite uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas. Considerar a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão impõe-se abordar todos os seus elementos, tanto os naturais como os sociais, tendo uma visão de totalidade a partir de inter-relacionamentos dinâmicos entre eles.

O termo bacia hidrográfica pode ser definido como a área de captação natural da água da precipitação, drenando essa água por ravinas, canais e tributários, para um curso d'água principal, tendo a vazão uma única saída, desaguando em um curso d'água maior, lago ou oceano (TONELLO, 2005). Cada bacia hidrográfica se interliga a outra de maior tamanho, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. As bacias hidrográficas maiores são resultantes do conjunto de pequenas bacias. Para Netto (2003), uma bacia hidrográfica é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial, sendo os limites de uma bacia hidrográfica ou de drenagem conhecido como divisor de drenagem ou divisor de águas. A bacia de drenagem apresenta-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações espaciais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como planejamento regional.

As principais bacias hidrográficas no Brasil foram reguladas pela construção de reservatórios os quais, isoladamente ou em cascata, constituem um aspecto qualitativo e quantitativo nos principais ecossistemas de águas interiores. São inúmeras as suas finalidades, sejam reservatórios de grande ou pequeno porte, as principais são: reserva de água para irrigação, reserva de água potável, produção de biomassa (cultivo de peixes e pesca intensiva), transporte (hidrovias), recreação, turismo e geração de energia (TUNDISI et al., 2006).

Os autores anteriormente citados nesta sessão abordam conceitos relacionados a bacias hidrográficas, dos quais podemos observar que há várias peculiaridades conhecidas como

padrões de drenagem, ou seja, tratam do arranjo dos rios dentro da bacia que, por sua vez, determinam vários esquemas de classificação dos rios e das respectivas bacias.

## 2.2 RESERVATÓRIOS

O volume e a diversidade dos recursos de águas interiores no Brasil são extremamente elevados. Esse conjunto de recursos hídricos tem uma grande importância ecológica, econômica e social, além de contribuir para o incremento do conhecimento de limnologia tropical (TUNDISI et al. 2006).

A construção de grandes lagos artificiais tem repercutido em consequências negativas, tais como: o aumento das taxas de sedimentação à montante em seus afluentes; aumento, de maneira explosiva, das comunidades de macrófitas aquáticas, principalmente as flutuantes e aumento da possibilidade de ocorrência do processo de eutrofização, principalmente se áreas florestadas ou agrícolas forem submersas; entre vários outros efeitos (ESTEVES, 1998).

A construção de reservatórios de água modifica as condições naturais de uma determinada seção do rio, como o ritmo e a vazão, formando ambientes lênticos com distinção do comportamento das propriedades limnológicas (BRANCO e ROCHA, 1977; KIMMEL et al., 1990; ESTEVES, 1998; TUNDISI et al., 1999). Ademais, localmente, a formação de reservatórios apresenta influência no clima, na geomorfologia e na ecologia, alterando a fauna e a flora presentes no ambiente aquático e terrestre.

Ainda, tratando-se de estudos relacionado a ambientes aquáticos, Esteves (1998), classifica as províncias lóticicas em três zonas. Zona inicial, onde ocorre correntes de águas rápidas, leitos profundos, turbulência e um número limitado de espécies (devido o fator limitante – velocidade da água). Zona média, correnteza moderada, predomínio de vegetação nas margens (produz matéria orgânica – folhas, árvores mortas e raízes) favorecendo diversos tipos de seres vivos. E, zona final – água turva, predomínio de matéria orgânica com acúmulo de sedimento, número reduzido de seres vivos. Diante deste cenário, em pesquisas que envolvem a análise de variáveis limnológicas podem ser identificados alguns parâmetros, tais como a temperatura da água, Total de Sólidos em Suspensão (TSS), Condutividade Elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH), entre outros (Dekker, 1993; Mota, 1997).

O impacto das atividades humanas nos ecossistemas aquáticos tem gerado uma série de problemas. Segundo Breunig (2006), os estudos de rios, lagos e áreas alagáveis apresentam uma importância cada vez maior para a sociedade, devido ao intenso uso da água e em função das atividades antrópicas que têm alterado as características naturais, sendo a poluição um dos

principais problemas a ser enfrentado. Reservatórios são ambientes artificiais que foram e continuam sendo construídos com o propósito principal de fornecer reservas de água para múltiplas finalidades de uso, entre as quais se destacam a produção de energia elétrica, o abastecimento doméstico e industrial, o transporte, a irrigação e a recreação e turismo (MATSUMURA-TUNDISI, 1999; TUNDISI, 1999, 2005, 2006).

A alteração no curso natural da água reduz a vazão do rio, prejudica a vida aquática e terrestre, ocorrem modificações nas variáveis limnológicas, como, por exemplo, as taxas de oxigênio, os totais de sedimentos em suspensão, além do surgimento de termoclina, que é a variação brusca de temperatura em uma determinada profundidade do mar ou em ambientes de água doce, entre outros (TUNDISI, 2008).

Reservatórios apresentam uma compartimentação horizontal em unidades e subunidades representadas pelas áreas de inundação dos afluentes com diferentes padrões de circulação e tempo de residência da água. Além disso, três regiões são encontradas em reservatório – lótica, transição e lântica – distinguindo-se pelo funcionamento hidráulico, transporte de sedimento, penetração da luz e pelas características da comunidade planctônica e bentônica (TUNDISI, 2006). Thomaz et al. (1997) afirmam que a construção de uma barragem implica no aumento imediato do tempo de residência da água do antigo sistema lótico. Essa transformação do ambiente lótico para lântico é a principal responsável pelas alterações nas características limnológicas observadas nas águas represadas e a jusante das mesmas. Ocorrem também alterações na fauna e na flora circunvizinhas e na qualidade física e química da água à jusante da represa, o que vai refletir na biota aquática, além de em longo prazo serem observadas alterações químicas no solo das áreas alagáveis (ESTEVES, 1998; TUNDISI, et al., 2006).

### 2.3 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS

O desenvolvimento de estudos limnológicos em busca da compreensão científica de mecanismos de funcionamento de águas continentais, historicamente, tem-se intensificado nos últimos cem anos. O funcionamento dos lagos, rios, represas, áreas alagadas e águas temporárias no interior dos continentes estão expostos a impactos contínuos a partir das bacias hidrográficas. Estas, por sua vez, estão associadas fundamentalmente com a morfometria da bacia e dos lagos, do clima predominante, dos usos dos recursos hídricos, do tempo de retenção, bem como da caracterização da ocupação antrópica e suas atividades desenvolvidas (TUNDISI, 2005).

Um dos grandes desafios da ecologia aquática hoje é conhecer o funcionamento de base dos ecossistemas aquáticos e compreender suas respostas decorrentes de perturbações introduzidas

pelas atividades humanas, de modo a prever o impacto dessas sobre suas condições de sustentabilidade em médio e longo prazo (SANTOS e PEREIRA FILHO, 2010). A cobertura vegetal na área de captação dos lagos ou reservatórios, rios e mananciais em geral é um dos principais fatores naturais na preservação da qualidade da água dos mesmos. A retirada da vegetação natural no entorno dessas áreas determina maior fluxo de partículas e nutrientes sólidos e de produtos químicos escoados para dentro do ecossistema aquático, ocasionando alteração nas características limnológicas da água (gerando a eutrofização, ou seja, aumentando a produção de matéria orgânica na água), causando a diminuição de oxigênio dissolvido e, conseqüentemente, produzindo gases venenosos que matam a ictiofauna e tornam a água imprópria para o consumo do homem e dos animais (TUCCI, 1993; ESTEVES, 1998; ROCHA, 1999; TUNDISI et al., 1999).

Os dados obtidos a partir de estudos da limnologia podem ser utilizados na definição de compartimentos aquáticos, pois podem compreender os processos físicos, químicos e biológicos em reservatórios. Esteves (1998) destaca que: “lago é um mundo em escala pequena no qual o ciclo da integração e da dissolução sempre se repete” ou ainda “cada lago é um órgão da terra”. Essas análises ressaltam a individualidade, ciclicidade e dinâmica de um ambiente aquático.

Em síntese, um reservatório pode ter vários compartimentos aquáticos com uma ou mais características em comum, porém comunicando-se um(s) com outro(s) e deslocando energia e matéria, ou seja, ocorre uma transferência das propriedades da água (ANGELINI, 2002). Tal transferência de propriedades provocam mudanças no tempo e no espaço. A disponibilidade de nutrientes, em uma determinada área, pode estar vulnerável quanto as condições de iluminação e às sucessivas mudanças direcionais de vento, que, conforme o período poderá formar um ou vários compartimentos aquáticos. Essas diferenças de temperatura nos diferentes compartimentos aquáticos podem proporcionar variações nos processos que ocorrem num mesmo reservatório.

Originalmente os estudos em Limnologia eram feitos em lagos segundo uma visão de sistemas quase fechados, as pesquisas eram baseadas na verticalidade dos processos em sistemas confinados e de circuitos, que caracterizam esses ambientes. O uso destas metodologias para estudos em rios, representou grande dificuldade aos limnólogos, principalmente em função dos efeitos da variável de fluxo longitudinal, que caracterizam os sistemas fluviais (SCHWARZBOLD, 2010). A principal característica que diferencia os ecossistemas lóticos e os lênticos quanto a movimentação da água, está no fato de que os ambientes lóticos (rios, riachos, córregos) as águas são correntes, predominando a estratificação horizontal, já os ambientes lênticos (lagos, lagoas, áreas alagadas) as águas estão estagnadas, nestas condições observa-se uma estratificação vertical.

### 2.3.1 Temperatura do Ar

A temperatura do ar é um parâmetro ambiental de grande importância devido sua influência sobre todos os organismos na superfície terrestre. Uma série de condicionantes intervêm na temperatura ar, tais como: estação do ano, circulação do ar, hora do dia, cobertura de nuvens, intensidade de radiação solar, latitude, altitude, dentre outros. Estes, por sua vez, influenciam nas variáveis limnológicas de todos os tipos de águas continentais.

Neste contexto, Esteves (2011), avança no conceito de Limnologia e define como sendo o estudo ecológico de todas as massas d'água continentais, independentemente de suas origens, dimensões e concentrações salinas. Desse modo abrange todos os tipos de águas interiores, como lagunas, açudes, lagoas, represas, reservatórios, rios, riachos, brejos, áreas alagáveis, águas subterrâneas e nascentes. A limnologia tem por princípio o estudo das reações funcionais e produtividade das comunidades bióticas dos ambientes aquáticos interiores e regiões costeiras, considerando os parâmetros físicos, químicos e bióticos ambientais.

### 2.3.2 Temperatura da Água

A temperatura da água é um dos fatores ecológicos mais decisivos quando estamos tratando de estudos ambientais, sendo que também é um importante limitador na distribuição geográfica de algumas espécies de plantas e animais. Em reservatórios de águas continentais, as mudanças bruscas de temperatura da água podem causar efeitos imensuráveis nas comunidades bióticas e inclusive modificar as características químicas da água.

Segundo Bonfim e Bortoni (2017), a temperatura da água varia basicamente conforme a intensidade da radiação solar incidente na superfície da água, salvo nos casos de despejos industriais, de termelétricas e de usinas atômicas que operem nas margens do lago ou reservatório. Ela exerce maior influência nas atividades biológicas e no crescimento. Também determina os tipos de organismos que podem habitar ali, como peixes, insetos, zooplâncton, fitoplâncton e outras espécies aquáticas, todas têm uma faixa preferida de temperatura para se desenvolverem. Se essa faixa for ultrapassada (para menos ou para mais), o número de indivíduos das espécies diminui até se extinguirem totalmente.

No sensoriamento remoto as medidas da temperatura da água são realizadas com o uso de sensores que detectam radiação termal (3-5 e 8-14  $\mu\text{m}$ ) emitida pela camada milimétrica (0.1  $\text{mm}$ ) da superfície da água (ALCÂNTARA, 2010). Para Robinson (2004) a temperatura  $T_{\text{skin}}$  (que é uma temperatura teórica utilizada no sensoriamento remoto como uma

aproximação da temperatura verdadeira da superfície) é mais representativa do que a  $T_s$  (temperatura da superfície) quando a camada de água é suficientemente misturada, sem que haja a formação de gradientes térmicos com a profundidade.

A temperatura da água é fortemente influenciada por elementos e fatores climáticos e pela variação diária da temperatura do ar atmosférico, bem como de outras variáveis limnológicas, como o TSS e a transparência. Ela é diretamente proporcional à transparência (zona eufótica) e inversamente proporcional ao TSS, isto é, quanto maior a temperatura da água, maior a transparência e, portanto, menor o TSS presente na água e vice versa (TUCCI, 1993).

Então, quando as diferenças de temperatura geram camadas de água com diferentes densidades, formando uma barreira física que impede que se misturem e se a energia do vento não for suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente na coluna de água, criando assim a condição de estabilidade térmica. Quando ocorre este fenômeno, o ecossistema aquático está estratificado termicamente. Os estratos ou camadas formados frequentemente estão diferenciados física, química e biologicamente, formando assim, diferentes compartimentos com diferentes transparências nos diversos setores aquáticos (INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UFRRJ, 2018).

### **2.3.3 Condutividade Elétrica**

De acordo com CETESB (2009), a condutividade elétrica é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta (CETESB, 2009).

A condutividade elétrica é uma variável limnológica de vital importância no metabolismo do ecossistema aquático, por estar relacionada à capacidade de propagar energia e às partículas e nutrientes sólidos dissolvidos na água, podendo ajudar na identificação de fontes poluidoras (ESTEVES, 1998; PEREIRA FILHO, 2000). Conforme Sartor (2008), um dado importante a saber é que o valor de condutividade elétrica é inversamente proporcional ao valor de índice pluviométrico, isto é, quanto maior o valor do índice pluviométrico, menor o valor da condutividade elétrica, e vice-versa.

Ainda, para Alberti (2016), a condutividade elétrica é a capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica; depende da concentração de sais dissolvidos e da temperatura. Ela é importante para o metabolismo dos mananciais, para a determinação de fontes



poluidoras, bem como, na indicação de nutrientes nos ecossistemas aquáticos. Os altos valores de condutividade elétrica podem estar relacionados a atividade antrópica junto ao ponto de coleta, ou seja, transferência de materiais entre o sistema terrestre e o aquático, neste caso o lançamento de esgoto *in natura* no arroio.

### 2.3.4 Totais de Sólidos Dissolvidos

Outra variável limnológica importante de analisar nos sistemas aquáticos é o total de sólidos dissolvidos, pois exerce influência no metabolismo e é determinante para que a água seja própria para o consumo humano, pois elevadas concentrações a torna imprópria para o consumo. Alguns sólidos em altas concentrações como os sulfetos e cloretos, podem causar corrosão e danificar o sistema aquático (STRASSBURGER, 2005).

A legislação brasileira vigente, CONAMA (1986), informa que a variável “total de sólidos dissolvidos” deve ser de até  $500\text{mg.L}^{-1}$ , quando forem amostras de “água doce” para abastecimento doméstico/humano sem ou com simples desinfecção e também para proteção das comunidades aquáticas. A pesquisadora Strassburger (2005), também faz considerações sobre as concentrações de sólidos dissolvidos, segundo ela concentrações maiores que  $400\text{mg.L}^{-1}$  tornam a água imprópria para o consumo, não podendo exceder  $500\text{mg.L}^{-1}$ .

Em estudos semelhantes, o pesquisador Wachholz (2007), alerta que o carreamento de partículas orgânicas e inorgânicas, provenientes do ambiente terrestre pelo escoamento superficial, para sub-bacias, tem como resultado a influência direta nos totais de sólidos suspensos. O aumento de sólidos e material sólido é extremamente significativo em áreas de ocupação antrópica nas bacias, devido a fatores como a limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, práticas agrícolas, entre outras causas.

A análise das características dos sólidos apresenta importante papel no entendimento de ecossistemas aquáticos. Os materiais sólidos apresentam grande concentração de nutrientes passíveis de troca com o meio. Frequentemente, as maiores taxas de liberação de nutrientes do sedimento para a coluna de água ocorrem quando a parte inferior desta se encontra com baixas concentrações de oxigênio, ou mesmo anaeróbica, fato este observado principalmente para o elemento fósforo (ESTEVES, 1998; DE FELIPPO et al., 1999).

### 2.3.5 Potencial Hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico influencia diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos de tratamento de águas. Nos ecossistemas aquáticos naturais possui efeitos diretos sobre a fisiologia de diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados ou exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9 (Resolução CONAMA 357/05 – Brasil, 2010).

Essa variável limnológica se torna de suma importância neste tipo de pesquisa porque as alterações nos seus valores podem pôr em risco a qualidade da água, acarretar mudanças químicas e, conseqüentemente, provocar danos à vida aquática, ao homem, aos animais e ainda causar problemas nas tubulações das redes de distribuição de água (BRANCO e ROCHA, 1977). O pH tem uma escala que varia de 0 a 14. Na água, onde os valores do pH são menores que 7,0, essa água é considerada ácida; quando temos pH igual a 7,0, a água é considerada neutra e, para valores de pH maiores que 7,0, a água é considerada alcalina. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda teores máximos de pH para água de consumo, variando entre 7,0 e 8,5 (TUCCI, 1993; ESTEVES, 1998).

### 2.3.6 Turbidez

Outra variável limnológica que tem bastante influência na análise de dados obtidos a partir da água é a turbidez. A erosão nas margens dos rios, que é intensificada pelo mau uso do solo, os esgotos domésticos, os efluentes industriais e as atividades de mineração provocam elevações na turbidez. O aumento excessivo da turbidez diminui a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas, e, conseqüentemente pode suprimir a produtividade de peixes, afetando deste modo as comunidades biológicas aquáticas e afetando negativamente os usos domésticos, industriais e recreacionais de um corpo d'água (CETESB, 2009).

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, ou seja, é uma propriedade física da água que se traduz na redução da sua transparência devido à presença de materiais em suspensão, tais como, partículas inorgânicas finamente divididas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos (algas e bactérias, plâncton em geral etc.), originados de processos naturais de erosão, bem como de esgotos domésticos e industriais (CETESB, 2009). A cor da água, seja resultante de compostos dissolvidos ou partículas em suspensão, pode afetar a medição de turbidez (ANDERSON, 2005).

O excesso de turbidez na água diminui a penetração da luz ocasionando a redução dos processos fotossintéticos do fitoplâncton, das algas e da vegetação submersa. Os materiais que se depositam no fundo ocasionam o soterramento de organismos bentônicos eliminam locais de desova de peixes, prejudicam o “habitat” de insetos aquáticos e outros invertebrados, conseqüentemente afetando toda cadeia trófica presente nos corpos d'água (CERETTA, 2004). Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, afetar a produtividade de peixes e influenciar nas comunidades biológicas aquáticas (CETESB, 2009).

A importância do estudo da turbidez é que pode identificar alguns problemas. Quando de origem natural não traz inconvenientes sanitários diretos, sendo esteticamente desagradável na água potável, e os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos, quando adsorvidos a essas partículas, diminuindo neste caso, a eficiência da desinfecção. Quando de origem antropogênica pode estar associada a compostos tóxicos e organismos patogênicos. Em corpos d'água a turbidez pode reduzir a penetração da luz, prejudicando a fotossíntese (VON SPERLING, 1996).

### **2.3.7 Total de Sólidos em Suspensão**

Segundo a Escola Politécnica da USP (2018), em estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos).

Os totais de sólidos em suspensão pode ser considerado o resultado das atividades do metabolismo aquático e tem relação com as atividades desenvolvidas no ambiente terrestre. Partículas orgânicas e inorgânicas são carreadas, através do escoamento superficial, nas bacias hidrográficas até o reservatório. Entretanto, a perda de material varia em função do tipo do uso da terra. Por exemplo, áreas florestais disponibilizam uma menor quantidade de partículas para o sistema aquático que áreas agrícolas (WACHHOLZ, 2007).

Os totais de sólidos em suspensão compreendem os sólidos orgânicos e inorgânicos em suspensão transportados pela água com um diâmetro maior que  $0,45\mu\text{m}$  (TODESCHINI, 2004). A fração orgânica é representada principalmente pelo fitoplâncton, zooplâncton e substâncias húmicas e a fração inorgânica é constituída principalmente de silte e argila (ESTEVES, 1998). O TSS interfere nas atividades do metabolismo aquático e tem relação com as atividades

desenvolvidas no ambiente terrestre. Partículas orgânicas e inorgânicas são carregadas, através do escoamento superficial, nas bacias hidrográficas até o reservatório. Entretanto, a perda de material varia em função do tipo do uso da terra. Por exemplo, áreas florestais disponibilizam uma menor quantidade de partículas para o sistema aquático que áreas agrícolas (WACHHOLZ, 2007). O TSS em níveis elevados pode repercutir na degradação do habitat aquático e da qualidade da água (AMBERS, 2001). Entre os problemas observados, está a maior disponibilidade de sólidos vulneráveis à deposição e seu potencial assoreamento de rios e reservatórios.

Além disso, Carvalho (2000) afirma em sua pesquisa que a formação de um ambiente lântico modifica a espacialidade na deposição de sedimentos. A modificação se desencadeia desde o remanso, com a deposição de cascalhos e areias. As substâncias mais finas são depositadas mais adentro do reservatório. Essas partículas têm uma acentuada participação no TSS em um reservatório, e a sua deposição pode diminuir o valor dessa variável limnológica.

### **2.3.8 Potássio**

O potássio é um elemento essencial para os seres vivos, tanto para a nutrição da flora quanto a nutrição dos seres humanos. Ele geralmente está presente em águas subterrâneas, sendo resultado da dissolução mineral de material vegetal em decomposição e do escoamento oriundo da agricultura. Assim como o sódio, sua principal função é atuar no equilíbrio de outros íons durante o metabolismo celular. São elementos que contribuem com a condutividade elétrica, a qual é a aptidão da água de transmitir corrente elétrica em função da dissolução de ânions e cátions, principalmente ferro e manganês, mas também de potássio, cloretos, sódio, cálcio e magnésio (LIBÂNEO, 2010).

Sendo assim, uma forma de avaliação dos cursos de água é comparar a característica da composição natural das águas pelos parâmetros físico-químico-biológicos com as atividades de borda e vizinhança do curso d'água e seu potencial de induzir impactos (SANTOS, 2004), por isso que é de suma importância identificar a influência que existe entre as características da água dos reservatórios e a utilização dos recursos hídricos e naturais das drenagens em seu entorno.

## **2.4 SENSORIAMENTO REMOTO**

Com o surgimento da Nova Geografia ou Geografia Quantitativa na década de 1960/70 no Brasil, inicia um período técnico-científico-informacional, onde a preocupação volta-se ao planejamento regional. O objeto de estudo principal da geografia passa a ser a organização do

espaço. Tem-se a visão sistêmica, como instrumento conceitual auxiliando na organização espacial. O emprego de técnicas quantitativas nos estudos geográficos torna-se fundamental para coleta e análise de dados, orientado com o uso de mapeamentos a espacialização das informações. Além das técnicas quantitativas deve se acrescentar o Sistema de Informação Geográfica, cartografia digital e sensoriamento remoto. Além de softwares específicos que contribuem para o armazenamento de dados, facilitando as pesquisas geográficas (ANDRADE, 1992).

O Geoprocessamento representa a área de atuação que envolve a coleta e tratamento de informação espacial, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações. A tecnologia ligada ao geoprocessamento envolve equipamentos (hardware) e programas (software) com diversos níveis de sofisticação destinados à implementação de sistemas com fins didáticos, de pesquisa acadêmica ou aplicações profissionais e científicas nos mais diversos ramos da geociências (CHRISTOFOLETTI, MARETTI, TEIXEIRA, 1992).

Diante deste cenário, as técnicas de sensoriamento remoto caracterizam-se pela utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos e fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores seriam os equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações (NOVO, 2008). A autora ainda ressalta que o sensoriamento remoto fornece dados de grande utilidade para diversas aplicações dentre as quais destaca a limnologia, auxiliando na caracterização da vegetação aquática, identificação de tipos de água e avaliação do impacto do uso da terra em sistemas aquáticos.

Segundo Corazza (2010), em águas continentais, componentes orgânicos e inorgânicos conferem a cor apresentada pela água, sendo algumas passíveis de detecção por técnicas de sensoriamento remoto. Dentre estas substâncias e/ou partículas se destacam os pigmentos fotossintéticos como a Chl-a, presente nos organismos fitoplanctônicos aquáticos, as partículas inorgânicas suspensas provenientes principalmente das bacias de captação do sistema aquático e o carbono orgânico dissolvido resultante da decomposição do material orgânico e inorgânico.

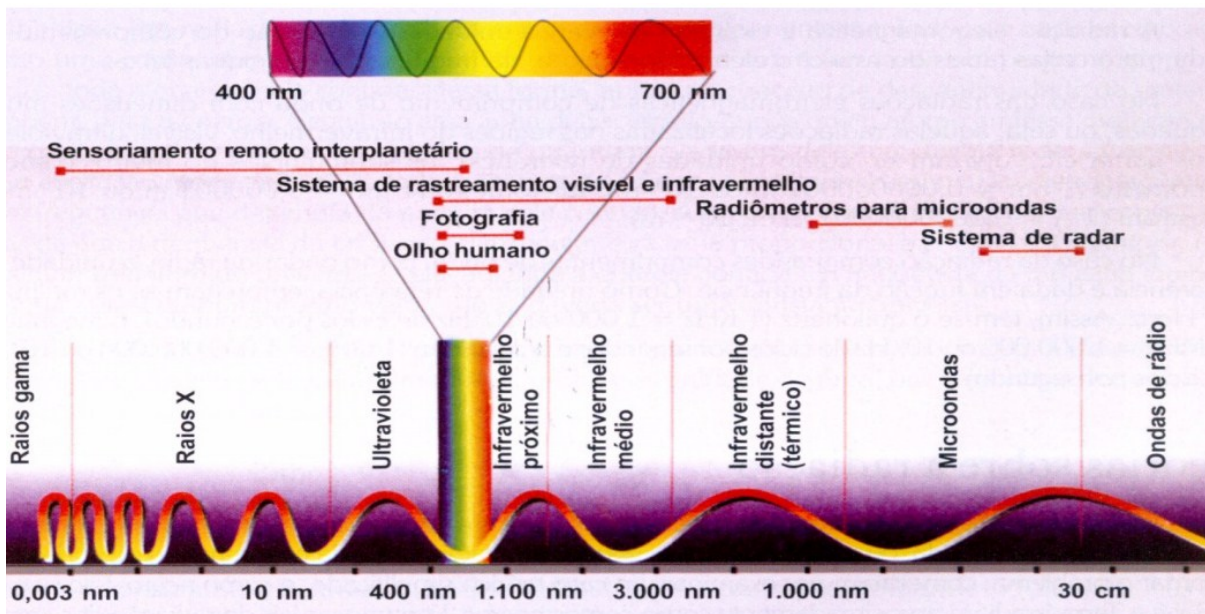
Grande parte do esforço de pesquisa na área de sensoriamento remoto se concentra na tarefa de extração de informações de imagens obtidas por satélites. Este esforço é particularmente importante no caso de países com extensões continentais como é o caso do Brasil. Corazza (2010) afirma que o sensoriamento remoto vai muito além da simples visualização de uma imagem de satélite ou de uma curva espectral obtida em laboratório. É preciso entender, acima de tudo, como a radiação interage com os elementos que compõem a superfície terrestre. Além disso, a água, vegetação, solo exposto, dentre outros, são certamente

objetos bastante complexos de serem compreendidos no uso de imagens de satélite para entender a dinâmica terrestre de estudos realizados em bacias hidrográficas.

O sensoriamento remoto permite adquirir informações sobre a superfície terrestre, a partir da detecção e registro da energia radiante resultante da interação da energia eletromagnética e do objeto (CURRAN, 1986). Essa técnica pode ser definida como a amostragem do espectro eletromagnético (GALVÃO, 2001). O dado coletado é ambiental, pois são resultantes de componentes bióticos e abióticos em uma dada área e momento (NOVO, 2008).

O Sol é a principal fonte de energia (radiação) eletromagnética para o sistema solar, bem como para o sensoriamento remoto da superfície terrestre. A energia radiada pela fotosfera (superfície aparente do Sol) em direção à Terra é denominada de Fluxo Radiante e apresenta natureza dual: ora se comporta como partícula (Teoria Corpuscular), ora se comporta como onda (Teoria Ondulatória). Sendo assim, a Figura 6 mostra as nove faixas do espectro eletromagnético, porém, a tecnologia de sensoriamento remoto opera principalmente nas faixas do espectro refletivo (visível e infravermelho próximo), respectivamente, na faixa de sinal entre 400 a 720nm e entre 720 a 1300nm, que detectam e imageiam os alvos naturais da superfície terrestre: água, vegetação (floresta, campo e agricultura), solo e rochas (NOVO, 1998; ROCHA, 2000; MOREIRA, 2005).

Figura 6 - Espectro eletromagnético.



Fonte: Moreira (2005).

Para Moreira (2005) a interação da radiação eletromagnética com os alvos da superfície terrestre e com o próprio solo depende, sobretudo, das características de cada um dos alvos e

do ambiente que os cerca, dessa forma, diferentes quantidades de energia absorvida e refletida, o que possibilita a discriminação de diversas ocupações da superfície terrestre, pois cada alvo possui respostas espectrais diferenciadas.

O sensoriamento remoto representa uma ferramenta importante para a obtenção de dados básicos e espaciais, para realização de tarefas de proteção do ambiente natural, bem como para decisões de planejamento, fornecendo estruturas básicas para a observação do meio (BLASCHKE; KUX, 2005). As imagens de satélite permitem uma visão de conjunto e multitemporal, o qual permite acompanhar as transformações do espaço ao longo do tempo.

O desenvolvimento dos sensores orbitais multiespectrais trouxe um grande avanço nos estudos ambientais, o MSS/LANDSAT foi um dos primeiros sensores orbitais desenvolvidos, porém apresentava grandes limitações no estudo urbano devido a sua baixa resolução espacial (80m). Os dados coletados pelo satélite fornecem grande quantidade de informações sobre a superfície terrestre, destacando-se o desenvolvimento agrícola, urbanização, degradação dos recursos hídricos e outros eventos naturais e antropogênicos. O uso de imagens multiespectrais registradas por satélites tais como Landsat, é uma importante técnica para a extração dos dados destinados às várias aplicações de pesquisa de recursos naturais (INPE/DGI, 2011).

Uma forma de avaliação dos cursos de água é comparar a característica da composição natural das águas pelos parâmetros físico-químico-biológicos com as atividades de borda e vizinhança do curso d'água e seu potencial de induzir impactos (SANTOS, 2004). Sendo de suma importância identificar a influência que existe entre as características da água dos reservatórios e a utilização dos recursos hídricos de seu entorno.

## 2.5 MAPAS TEMÁTICOS

Mapas são representações gráficas feitas geralmente em uma superfície plana (como papel), com a finalidade de apresentar informações da realidade; eles fazem parte da humanidade desde os tempos remotos. Mapas temáticos têm por finalidade fornecer com o auxílio de símbolos quantitativos e qualitativos dispostos sobre uma base de referência, uma representação convencional dos fenômenos de qualquer natureza e de suas correlações (JOLY, 1997).

A criação de um mapa temático nasce da necessidade do planejador obter uma resposta a partir da associação de informações conhecidas. Diferentes mapas temáticos podem ser complementares no auxílio a uma tomada de decisão específica, da mesma forma que mapas temáticos iguais, gerados com certa periodicidade podem se constituir em ferramentas imprescindíveis ao monitoramento dos resultados de uma decisão já tomada.

Lopes e Loch (1992) salientam a importância e o valor das imagens orbitais para a atualização de mapas temáticos, considerando-se a repetitividade dos imageamentos, as possibilidades de se obter imagens com outras resoluções espectrais e a melhoria em termos de precisão. Segundo Lopes, Loch e Bahr (2004), resultados de uma pesquisa, apresentados sob a forma gráfica de mapas temáticos, torna a informação mais impactante e provoca reação positiva no administrador, estimulando-o para que soluções sejam providenciadas de forma mais rápida.

Dentre os diversos tipos de mapas temáticos existentes, destacam-se o Mapa Clinográfico, o Mapa de Orientação de Vertentes, o Mapa Hipsométrico e o Mapa de Uso da Terra, que será abordado mais detalhadamente dentro da sessão de sensoriamento remoto. Estes mapas também fazem parte do conjunto geral de análises deste trabalho.

### **2.5.1 Mapa Clinográfico**

A modelagem da paisagem é resultado das diferentes formas e estruturas do relevo. Com a finalidade de representar o relevo, havendo assim uma melhor adaptação do homem às limitações impostas pela natureza, destaca-se o mapa clinográfico, o qual, de acordo com De Biasi (1977), constitui-se numa representação cartográfica que permite identificar as áreas (espaços urbanos, agricultura, áreas degradadas, entre outras) que podem ser utilizadas pela ação humana.

O mapa clinográfico está diretamente ligado à capacidade do uso da terra, sendo que a topografia constitui-se geralmente em um dos fatores mais importantes para o planejamento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Para Cunha e Guerra (1999), a elaboração do mapa clinográfico define-se como a base para se avaliar as restrições pertinentes à mecanização agrícola, urbanização e técnicas para conservação dos solos.

### **2.5.2 Mapa de Orientação de Vertentes**

De acordo com Saydelles e Sartori (2007), durante a movimentação aparente do Sol ao longo do ano no Hemisfério Sul, somente nas áreas tropicais o Sol atinge o zênite durante o solstício de verão, e nas áreas equatoriais nos equinócios de primavera e outono. A elaboração do mapa de orientação de vertentes é muito importante para identificar em graus, de 0° a 360°, qual o sentido da inclinação de para cada vertente, desde o topo, até a parte mais baixa da inclinação. A orientação da vertente do terreno compõe, juntamente com a declividade, a geometria de exposição da superfície do terreno em representações sob esquema de relevo



(AMBDATA, 2018). A orientação de vertentes (também chamada exposição ou direção) pode ser definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente. A grade de exposição é gerada a partir da grade de altitude, utilizando o *Software* de Geoprocessamento ArcGIS e os valores são expressos em graus (ARCGIS ON-LINE, 2018).

A representação cartográfica do mapa de orientação de vertentes segue a metodologia indicada por De Biasi et al. (1977) em que, de acordo com o autor, “A orientação desses segmentos de vertentes irá depender da amplitude angular de suas tangentes em relação às curvas de nível, levando-se em consideração os azimutes determinados pela linha Norte-Sul.”

Quanto à representação da orientação de vertentes, as cores azul e lilás indicam as vertentes voltadas para o norte, nordeste e noroeste; as cores laranja e amarela indicam as vertentes orientadas para o sul, sudeste e sudoeste; e a cor vermelha, as vertentes voltadas para leste e oeste. Estas áreas de acúmulo de umidade, quando associadas a declividades mais acentuadas, configuram pontos de instabilidade potencial da superfície por ocasião da ocorrência de eventos pluviométricos mais significativos, e podem deflagrar a instalação de processos erosivos, que eventualmente viriam a promover uma maior velocidade no assoreamento natural nos reservatórios (ARCGIS ON-LINE, 2018).

### **2.5.3 Mapa Hipsométrico**

A função do mapa hipsométrico é conhecer a variação altimétrica do relevo, sendo importante em estudos de análise ambiental. De acordo com Christofolletti (1980), a hipsometria preocupa-se em estudar as inter-relações existentes em determinadas unidades do espaço relacionado à sua distribuição em faixas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície em relação às variações altimétricas a partir de uma determinada curva de nível. Os estudos hipsométricos possibilitam interpretar o relevo, que por sua vez interfere decisivamente no processo erosivo, principalmente através do escoamento superficial da água. A configuração topográfica de uma área de drenagem está estritamente relacionada com os fenômenos de erosão que se processam em sua superfície. Também através da hipsometria é possível detectar o índice de dissecação do relevo.

#### 2.5.4 Mapa de Uso da Terra

O mapa de uso e cobertura da terra pode diagnosticar e auxiliar no planejamento adequado dos diversos tipos de utilização da superfície, uma vez que as técnicas de sensoriamento remoto permitem a atualização constante dessas informações. Decorrente disso torna-se importante estudos que possam avaliar a fragilidade do meio, bem como os elementos ou resultados do processo que interferem no ambiente, como forma de prevenção de impactos causados principalmente pelas atividades humanas.

Os mapas de ocupação e utilização da terra são principalmente fisionômicos, pelo fato de descreverem a paisagem e suas relações com os aspectos físicos e humanos. O conceito de utilização do solo está relacionado ao espaço agrícola, florestal, urbano, infraestrutura e espaços não produtivos (JOLY, 1979). A referência ao uso da terra representa a forma de organização e ocupação do espaço pelo homem, sendo possível analisar utilizando técnicas como o Geoprocessamento, os impactos causados ao meio natural (LOCH, 2001).

Além disso, o mapa de uso e cobertura da terra destina-se a estabelecer a intensidade da ação antrópica no manejo da terra, como também refletir o nível de cobertura vegetal sobre o solo e a consequente preservação do meio ambiente, principalmente no que se refere aos processos erosivos (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 1999) e a disposição da mata ciliar ao longo dos cursos d'água.

#### 2.6 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A ação da radiação solar e do vento sobre as águas da superfície terrestre proporciona o fenômeno da evaporação, que é a passagem da água do estado líquido para o estado de vapor. A quantidade de chuva que cai num determinado lugar e num determinado tempo é medida pelo pluviômetro e registrada pelo pluviógrafo. Seu volume é expresso geralmente em polegadas, referindo-se ao estado da água (líquida ou sólida) que se precipita sobre uma determinada região e por um determinado período de tempo. A precipitação pluviométrica é uma das variáveis meteorológicas que mais contribuem para o estudo de bacias hidrográficas, pois representa a principal entrada de água no sistema, sendo, a chuva a principal forma de precipitação. Em escassez ou excesso a precipitação pluviométrica que atinge o solo poderá escoar ou infiltrar, dependendo das características físicas da bacia de captação poderá influenciar diretamente na rede de drenagem aumentando ou diminuindo a vazão dos cursos de água (TUCCI, 1998; RENNÓ, 2004).

Dessa forma, os diagnósticos que permitem afirmar se choveu em maior ou menor quantidade do que o esperado para um determinado período de tempo estão relacionados com

gráficos elaborados com base na média de chuva em cada período. O índice é calculado em milímetros. Se o índice pluviométrico de um dia, em certo local, foi de 2 mm, significa que, se tiver nesse local uma caixa aberta, com 1 metro quadrado de base, o nível da água dentro dela teria atingido 2mm de altura naquele dia. Para chegar a esse índice, as centenas de estações meteorológicas espalhadas pelo país utilizam o pluviômetro. Há vários modelos diferentes, mas o instrumento constitui-se, basicamente, do funil de captação e básculas que enviam sinais elétricos para uma estação meteorológica. Com base em todos os aparelhos instalados em uma determinada região, é possível chegar à média da precipitação observada na área total (INMET, 2018).

Para estudar precipitação no Rio Grande do Sul devem ser levados em consideração trabalhos realizados por Nimer (1989) e Sartori (2003) que contribuem significativamente através de estudos rítmicos de precipitação, em clima urbano e em percepção climática, dando ênfase à Região Central do Estado. A precipitação no Rio Grande do Sul conforme Sartori (2003) é essencialmente de origem frontal, no entanto, para a autora, são os fatores de natureza dinâmica responsáveis pela gênese dos estados de tempo, que definem o clima ao longo do ano no Rio Grande do Sul, através do mecanismo sazonal de atuação dos sistemas atmosféricos regionais.

Segundo Rudorff (2006), a precipitação pode ser um forte elemento natural de degradação, sempre associado à erosão dos solos e conseqüentemente, alterando a topografia do local, ou de uma bacia hidrográfica. O total pluviométrico do local associado ao uso da terra poderá apresentar forte influência nos sólidos em suspensão de corpos de água, alterando a refletância da água pura. Pois, segundo o autor, a utilização de sensoriamento remoto para o estudo da qualidade da água fundamenta-se no fato de que elementos, tais como material orgânico e inorgânico, em suspensão e dissolvido, alteram as características espectrais da água pura.

## 2.7 ABORDAGEM ESTATÍSTICA

Em estudos que envolvem o uso de dados de sensoriamento remoto utilizam-se diferentes técnicas que visam complementar informações ou permitir análises mais confiáveis. Dessa forma, ocorre a busca por procedimentos e métodos estatísticos que possam contribuir na interpretação e comparações entre dados de sensoriamento remoto e limnologia, principalmente com as análises estatísticas como correlações e regressões.

As medidas estatísticas auxiliam na interpretação de dados de diversas ordens, dentre os quais os dados ambientais, com destaque para a correlação linear simples ( $r$ ) e o teste de hipóteses.

Em se tratando da correlação linear simples ( $r$ ) Callegari-Jacques (2003) explica que esta é uma medida de intensidade da associação existente entre duas variáveis quantitativas, e

sua fórmula de cálculo foi proposta por Karl Pearson em 1896, sendo chamado de coeficiente de correlação de Pearson. Esse coeficiente de correlação pode variar de  $-1$  a  $+1$ . Valores negativos de  $r$  indicam uma correlação do tipo inversa, isto é, quando  $x$  aumenta,  $y$  em média diminui (ou vice-versa). Valores positivos para  $r$  ocorrem quando a correlação é direta, isto é,  $x$  e  $y$  variam no mesmo sentido. O valor máximo de  $r$ , tanto positivo quanto negativo, é obtido quando todos os pontos do diagrama estão numa linha reta inclinada. Por outro lado, quando não há correlação entre os dados analisados os pontos se distribuem aleatoriamente.

Ao calcular o coeficiente de correlação em uma amostra, é necessário ter em mente que se está, na realidade, estimando a associação verdadeira ou falsa entre  $x$  e  $y$  existente na população, descartando a possibilidade do valor obtido ser casual, representando um erro devido à amostragem. Dessa forma, deve ser realizado um teste de hipóteses, pelo qual se rejeita ou não uma hipótese, associando à conclusão um risco máximo de erro. No teste estatístico deve ser escolhido primeiramente o nível de significância (geralmente 0,05, 0,01) que irá determinar o nível de confiança do teste (95%, 99%). Então é calculado o valor crítico do teste ( $t_{cal}$ ) com a utilização do valor da correlação e da quantidade de amostras. Caso o valor de  $t_{cal}$  for menor que o valor do  $t_{tab}$ , o qual representa os valores críticos da distribuição  $t$  de Student, fornecido através de uma tabela pronta, pode-se afirmar que a correlação não é estatisticamente significativa. Se o  $t_{cal}$  for maior que o  $t_{tab}$  a correlação é significativa (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Para o uso de duas ou mais variáveis além das medidas de tendência central e de dispersão, também é interessante conhecer se elas apresentam algum relacionamento entre si, isto é, se valores de uma das variáveis implicam em valores da outra variável. Outra abordagem estatística consiste no teste de hipóteses, em que se busca verificar se as variáveis limnológicas de um reservatório são iguais as de outro reservatório, por exemplo. A aplicação apropriada de um determinado procedimento estatístico depende do bom cumprimento de um conjunto de pressupostos para realizar determinado procedimento (LEVINE; BERENSON; STEPHAN, 2000).

De acordo com Pereira (1978), a investigação a respeito das correlações surge quando se tem em mente averiguar as possíveis relações ou regularidades de manifestação entre dois ou mais fenômenos. Sendo assim, na teoria da probabilidade e estatística, correlação, também chamada de coeficiente de correlação, indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. Em síntese, correlação refere-se a medida da relação entre duas variáveis, embora correlação não implique causalidade. Neste sentido geral, existem vários coeficientes medindo o grau de correlação, adaptados à natureza dos dados.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 MATERIAIS UTILIZADOS**

#### **3.1.1. Dados Coletados em Campo**

- Temperatura, utilizando termômetro simples de bulbo, para coleta da temperatura da água e do ar;

- Amostra em frascos de 1 litro, para posterior processamento em laboratório e obtenção dos dados de condutividade elétrica, totais de sólidos dissolvidos, potencial hidrogeniônico, turbidez, total de sólidos em suspensão e potássio;

#### **3.1.2. Produtos Orbitais**

- Imagens do Programa Indiano de Satélites de Observação da Terra IRS (*Indian Remote Sensing Satellite*), sistema RESOURCESAT 2, obtidas junto ao catálogo de imagens digitais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, para posterior classificação do uso da terra.

- Imagens da Agência Espacial Europeia – ESA, sistema SENTINEL 2, obtidas junto ao catálogo de imagens digitais do Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS, para posterior classificação do uso da terra.

- Imagem *SRTM*, resolução espacial de 90 metros, interpoladas para 30 metros, disponibilizadas no site da USGS, para modelagens do terreno.

#### **3.1.3 Material Cartográfico**

- Cartas Topográficas Rio Guassupi, Val de Serra, Santa Maria e Camobi, folhas SH-22-V-C-I-3, SH-22-V-C-I-4, SH-22-V-C-IV-1 e SH-22-V-C-IV-2, respectivamente, com escala 1:50.000, elaboradas pela Diretoria de Serviços Geográficos (DSG) de 1979, para a elaboração da base cartográfica.

### 3.1.4 Softwares

- Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING, versão 4.3.3, disponibilizado pelo INPE, para a classificação das imagens de satélite.

- *Software* ArcGIS versão 10.2.1, para elaboração do banco de dados geográfico e interpolação dos dados limnológicos e dados pluviométricos.

- *Software* Corel Draw 17, para desenvolvimento do *layout* final dos mapas.

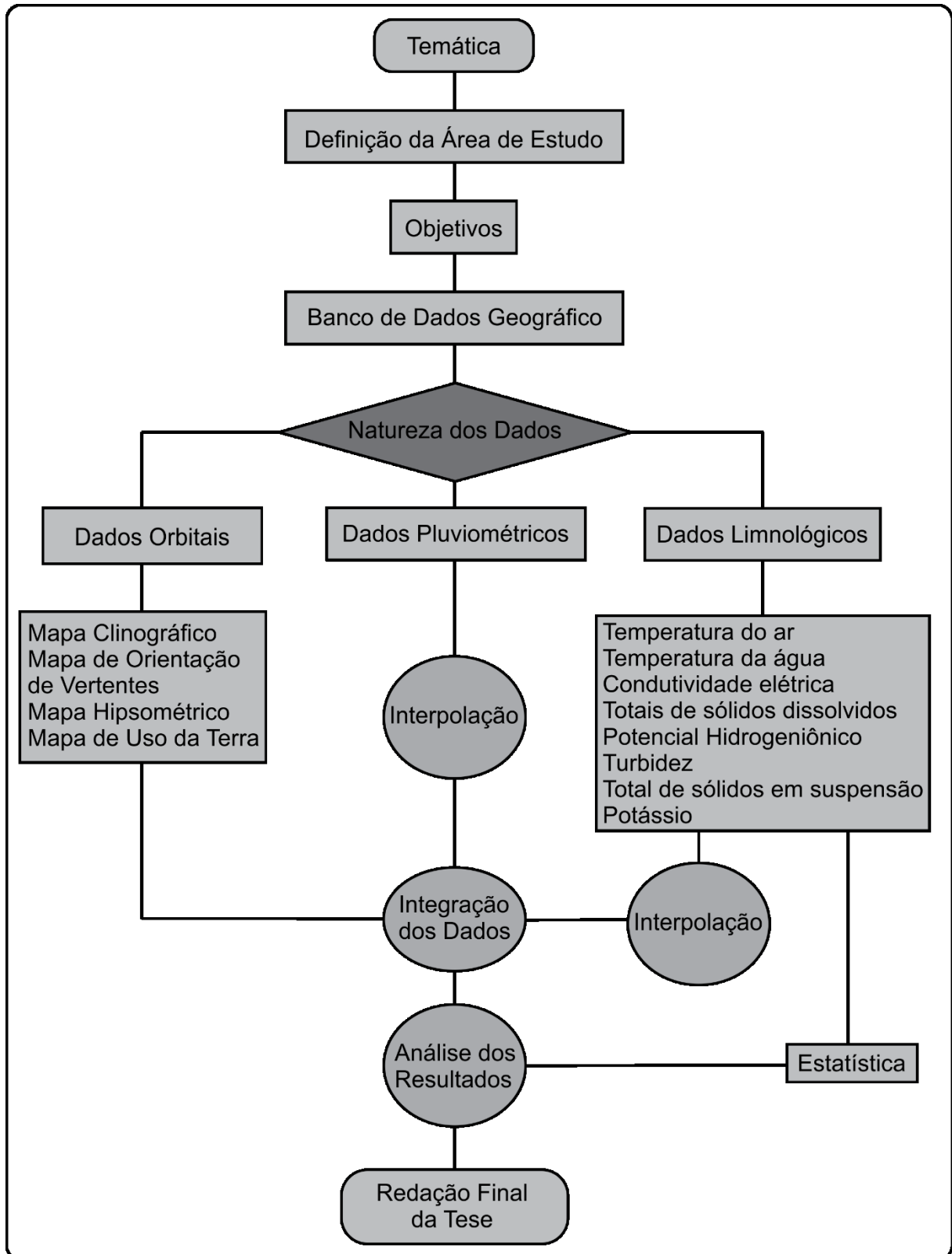
### 3.1.5 Dados Pluviométricos

- Dados pluviométricos disponibilizados pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

## 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo realizado na bacia de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva enfatiza as condições e inter-relações físicas e ambientais entre classes de uso da terra e dados limnológicos. As etapas dos procedimentos metodológicos compreenderam inicialmente na definição dos objetivos a serem atingidos e uma pesquisa em fontes bibliográficas que permitiram maior aprofundamento do assunto. Posteriormente, passou-se à coleta das informações, elaboração da base cartográfica, quantificação e análise dos dados. Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do trabalho estão representados no fluxograma de atividades (Figura 7).

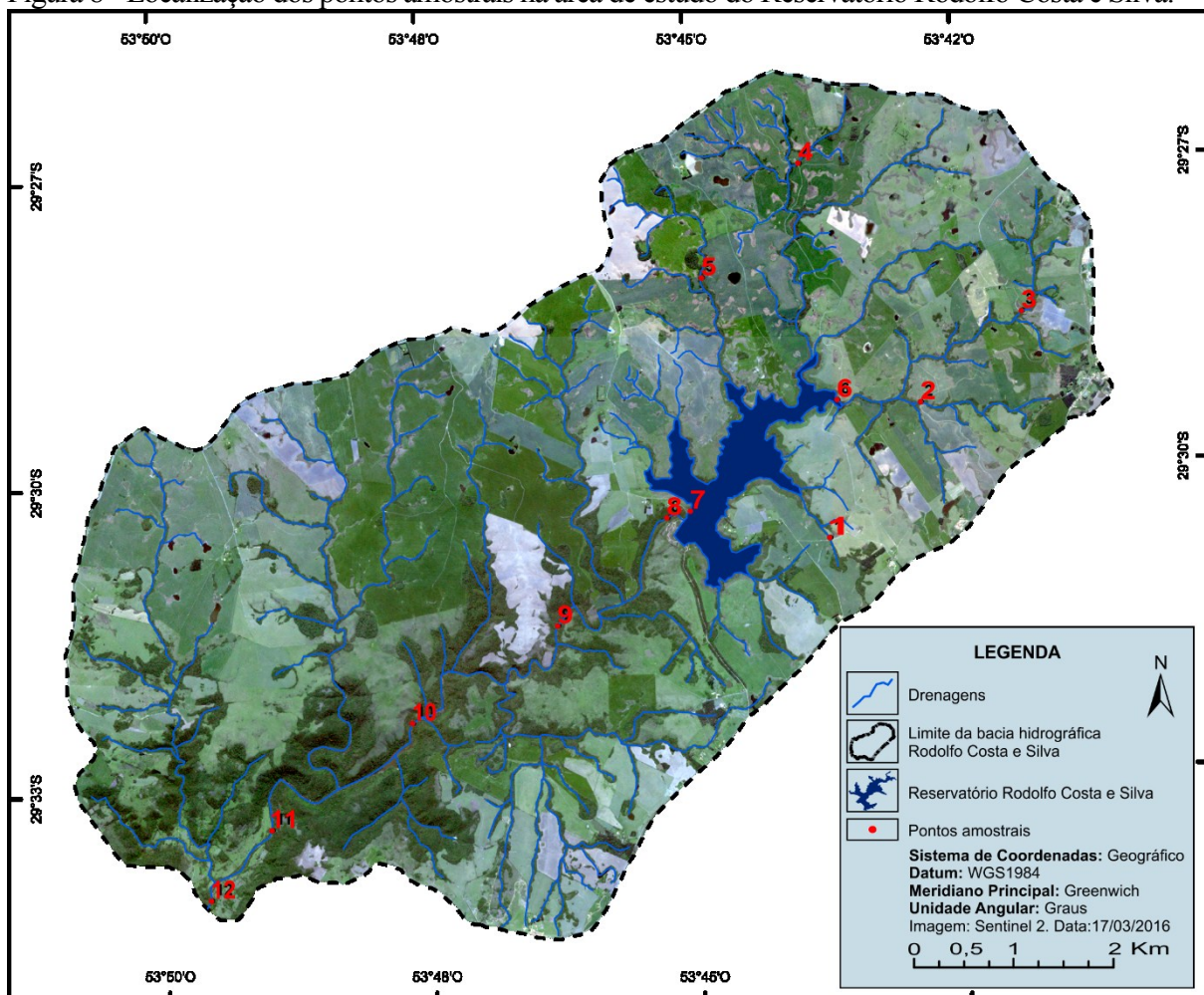
Figura 7 - Fluxograma com a representação da sequência das atividades desenvolvidas na pesquisa.



Fonte: Próprio autor.

A metodologia da pesquisa proporcionou quantificar dados dos ambientes terrestre e aquático através da interpretação e análise integrada das relações espaço-temporais que ocorrem nesses ambientes. A definição das estratégias para obtenção das informações teve como base a construção de um banco de dados com o processamento de imagens de satélite e a identificação dos ambientes; as inspeções de campo para a coleta das amostras. Para tal foram utilizados 10 pontos amostrais definidos a priori (Figura 8). Também, devido a ajustes na logística de campo e para melhor qualidade da pesquisa em termos amostrais, a partir do campo 3 (11/01/2018) foi inserido mais dois pontos de coleta de dados na sessão a jusante do reservatório (pontos 11 e 12). Em campo e em laboratório determinou-se as seguintes variáveis Limnológicas: Temperatura do ar, Temperatura da água, Condutividade elétrica, Totais de sólidos dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de sólidos em suspensão e Potássio. O resultado final da pesquisa foi obtido a partir do processamento dos dados em laboratório, a interpretação, análise e integração dos resultados considerando as relações entre os ambientes.

Figura 8 - Localização dos pontos amostrais na área de estudo do Reservatório Rodolfo Costa e Silva.





### 3.2.1 Mapas Temáticos

O estudo na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, possibilitou enfatizar as condições e inter-relações físicas e ambientais com a utilização de imagens de Sensoriamento Remoto. Compreendeu inicialmente, na definição dos objetivos a serem atingidos e uma pesquisa em fontes bibliográficas que permitiram maior aprofundamento do assunto. Posteriormente, passou-se à coleta das informações, elaboração da base cartográfica e elaboração dos mapas temáticos de acordo com os procedimentos metodológicos observados a seguir.

#### 3.2.1.1 Elaboração do mapa clinográfico

O mapa clinográfico representa a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. O grau de declividade representa em geral blocos de igual intensidade de dissecação fluvial, e reflete a taxa de variação na elevação. O mapa foi confeccionado a partir do MDT<sup>1</sup> com os valores de declividade em graus.

Com a imagem SRTM (Missão Topográfica Radar *Shuttle*) gerou-se no *software* ArcMap uma grade de declividade definindo-se valores de saída em porcentagem e a resolução em X e Y de 30 metros, a partir da qual determinou-se o fatiamento com intervalos variáveis, de acordo com as classes definidas. Por fim, realizou-se a associação das fatias com as cinco classes temáticas consideradas utilizando-se a classificação apresentada por De Biasi (1992) indicada por: < - 5% - limite urbano industrial; 5 - 12% - limite máximo do emprego da mecanização da agricultura; 12 - 30% - define o limite máximo para urbanização sem restrições (Lei 6766/79<sup>2</sup>); 30 - 45% - limite máximo de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de florestas e > 45% - não é permitido a derrubada de florestas, só sendo tolerada a extração de toros, quando em regime de utilização racional.

#### 3.2.1.2 Elaboração do mapa orientação de vertentes

O mapa de orientação de vertentes indica a direção dos declives e a orientação das vertentes, gerado a partir do MDT, com os valores de orientação em relação ao azimute. Após, gerados os intervalos de classe, com modo de edição fixo, fornecendo o valor da cota inicial, cota

---

<sup>1</sup> MDT – Modelo Digital do Terreno.

<sup>2</sup> Lei 6766/79 - Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.

final e o intervalo de equidistância na distribuição dos valores das fatias. Em seguida fez-se a associação das fatias com as classes temáticas, as quais foram determinadas da seguinte forma: 0° - 45° - Norte; 45° - 135° - Leste; 135° - 225° - Sul; 225° - 315° - Oeste; 315° - 360° - Norte.

### *3.2.1.3 Elaboração do mapa hipsométrico*

A partir do modelo digital de elevação SRTM gerou-se o mapa hipsométrico, para o qual fez-se o fatiamento da imagem. O fatiamento consiste em gerar uma imagem temática a partir de uma grade retangular definindo-se intervalos de valores de cotas. Após, gerados os intervalos de classe, com modo de edição fixo, fornecendo o valor da cota inicial, cota final e o intervalo de equidistância na distribuição dos valores das fatias. Em seguida fez-se a associação das fatias com as classes temáticas, definidas em cinco classes com equidistância entre as curvas de nível de 60 metros, em função dos valores altimétricos observados na grade regular e que melhor representam o terreno. As classes variam entre: 222 – 282m, 282 – 342m, 342 – 402m, 402 – 462m, 462 – 522 metros, onde foram atribuídas cores a cada classe altimétrica.

## **3.2.2 Trabalho de Campo**

O primeiro trabalho de campo realizado na bacia-hidrográfica foi para o reconhecimento da área de estudo e para a coleta de amostras de água. Foram utilizados os dados das variáveis limnológicas temperatura do ar, temperatura da água, Condutividade Elétrica, Totais de Sólidos Dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de Sólidos em Suspensão e Potássio, das drenagens do reservatório Rodolfo Costa e Silva, coletados em 10 pontos amostrais espacialmente distribuídos na área de captação a montante e a jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, com coletas sazonais no período de junho de 2015 a maio de 2018.

As coletas sazonais buscaram contemplar as quatro estações do ano para tentar entender alguma possível relação dos dados limnológicos com a época do ano em que foram coletados. Devido a melhor logística de campo e maior precisão nos dados amostrais, nos dois últimos períodos de coletas foram incrementados mais 2 pontos amostrais na sessão jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva.

Os trabalhos de campo realizados com o intuito de coletar as amostras para obter os dados limnológicos, com datas de 07 de agosto de 2015, 20 de novembro de 2015, 11 de janeiro de 2018 e 07 de maio de 2018, ficaram estabelecidas, para este trabalho de pesquisa, como sendo Campo 1, Campo 2, Campo 3 e Campo 4, respectivamente.

Os trabalhos de campo consistem na coleta das amostras em frascos de 1 litro, dados de temperatura, características do entorno amostral e das condições atmosféricas. As datas das missões de campo procuraram contemplar as quatro estações sazonais anuais. Os pontos amostrais foram georreferenciados com aparelho GPS Garmin Montana 600 com precisão de aproximadamente 5 metros, podendo variar conforme a disponibilidade dos satélites conectados ao GPS. Para realizar as coletas nos pontos amostrais seguiu-se uma rota pré-determinada em laboratório conforme a acessibilidade dos locais na bacia hidrográfica. As amostras foram obtidas conforme ilustração das Figuras 9, 10 e 11, dos pontos 3, 5 e 8, respectivamente. As demais amostras coletadas seguiram a mesma metodologia.

Figura 9 - Coleta da amostra no ponto 3.



Fonte: Acervo do autor.



Figura 10 - Coleta da amostra no ponto 5.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 11 - Coleta da amostra no ponto 8.



Fonte: Acervo do autor.



### 3.2.3 Determinação das Variáveis Limnológicas em Laboratório

Para a obtenção dos dados de Condutividade Elétrica, Totais de Sólidos Dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de Sólidos em Suspensão e Potássio foram coletadas em campo amostras de água em frascos de 1000 ml para posterior filtragem e determinação dos valores em laboratório. Os totais de sólidos dissolvidos foram determinados com o uso do condutivímetro HANNA - HI99300, calibrado com solução padrão  $1413\mu\text{S}/\text{cm}$ . Após a coleta da água nos pontos amostrais, as amostras foram mantidas resfriadas numa caixa de armazenamento até chegarem ao laboratório. Caso não puderem ser processadas imediatamente, deverão ficar mantidas no escuro e sob refrigeração, por não mais que 8 horas. Os procedimentos devem ser realizados sempre sob fraca iluminação.

A temperatura do ar e da água foram medidas com o uso do termômetro simples de bulbo sempre realizando primeiro a medida da temperatura do ar e posteriormente a temperatura em sub-superfície que registra e mostra diretamente num painel digital a temperatura da coluna de água, conforme ilustrado na Figura 12. Estas medidas foram realizadas no próprio local de coleta (DEBERDT, 2000).

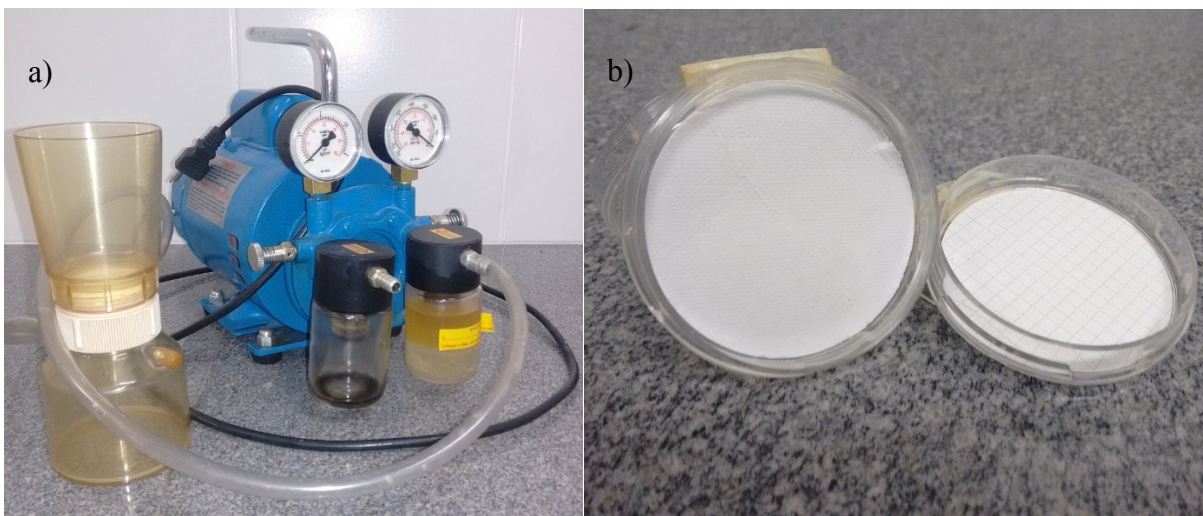
Figura 12 - Coleta da temperatura da água diretamente no ponto amostral.



Fonte: Acervo do autor.

A obtenção dos valores de TSS foi feita conforme descrito em Wachholz (2007), o qual consiste na filtragem das amostras de água obtidas em campo e realizado a determinação dos valores em laboratório, devidamente identificados, armazenados em ambiente resfriado. Os valores de TSS em nível de laboratório foram realizados utilizando bomba de vácuo e filtro de celulose (Figuras 13-a e 13-b), Marca Millipore - HAWG047S0) constituído por membranas HA em Ester de Celulose com poros de 0,45 µm e diâmetro de 47 mm (MILLIPORE, 2011).

Figura 13 - a) Bomba a vácuo e b) Filtro de fibra de vidro e celulose.



Fonte: Acervo do autor.

Para eliminar a umidade, inicialmente os filtros foram secados por 24 horas na estufa com temperatura de aproximadamente 50°C. Posteriormente à secagem, os filtros são pesados em balança analítica com acurácia de 0,0001g da marca Metter Toledo - modelo AG 245 (Figura 14) para obtenção do peso inicial ( $P_i$ ). Os filtros retornam a estufa após a filtragem da água, onde novamente permanecem por mais 24 horas a 50°C. Após utilizando-se a mesma balança para pesagem dos filtros, obtém-se o Peso Final ( $P_f$ ). Dessa forma é possível determinar o TSS em miligramas por litro para cada amostra com a Equação 1:

$$TSS = [(P_f - P_i) / V] \times 1000 \quad (1)$$

Onde:

$TSS$  - Total de Sólidos em Suspensão

$P_f$  - Peso Final (g)

$P_i$  - Peso Inicial (g)

$V$  - Volume (L)

Figura 14 - Balança analítica de alta precisão utilizada para pesagem dos filtros de celulose.



Fonte: Acervo do autor.

A determinação da turbidez foi obtida com o uso da Sonda multiparâmetro (Horiba - U53). A série de multiparâmetros U-50 da HORIBA é capaz de medir e gravar numa memória interna dados de 11 parâmetros simultaneamente com uma única sonda. Essa sonda multiparamétrica pode ser utilizada para monitoramento da qualidade de águas superficiais, com a introdução da sonda diretamente na água, e também para coletas de amostras de água subterrânea utilizando uma célula de fluxo (HORIBA, 2018).

A concentração de potássio (K<sup>+</sup>) foi determinada por espectroscopia de absorção atômica em amostras filtradas. Utilizou-se o fotômetro de chamas Modelo Luca 7000, do Grupo Lucadema, com leituras em miliequivalente por litro (mEq/L) e posteriormente convertido para mg.L<sup>-1</sup>.

Para a determinação do pH e da CE foram utilizados os aparelhos peagâmetro digital portátil pHTeh PH100 e o condutivímetro ORION 815, calibrados com soluções padrão pH 4 e pH 7 e solução 1413 µS/cm, respectivamente. Esta calibração ocorreu previamente às análises em laboratório.



### 3.2.4 Processamento Digital de Imagens

As atividades específicas do laboratório se desenvolveram a partir da construção do banco de dados geográfico com inserção de documentos cartográficos (Cartas Topográficas), imagens de satélite e espacialização dos dados limnológicos. Foram utilizadas duas imagens do satélite Resourcesat 2, com datas de 09 de agosto de 2015 e 07 de dezembro de 2015, obtidas junto ao catálogo digital de imagens orbitais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, com missão desenvolvida e operada pela *Indian Space Research Organization (ISRO)*. Para este trabalho, as duas imagens orbitais foram associadas aos campos 1 e 2, relacionadas as coletas dos dados limnológicos. A organização lançou o satélite Resourcesat-2 em 20 de abril de 2011 e ainda continua em operação espacial. Segundo a Divisão de Geração de Imagens do INPE, esse sistema de Observação da Terra é próprio para trabalhos na área de agricultura, levantamentos de uso e cobertura das terras, monitoramento de safras, além de atuar em estudos de áreas urbanas e cartografia. O RESOURCESAT-2 opera com três instrumentos sensores semelhantes aos oferecidos por seu antecessor, com atualizações tecnológicas que viabilizam maior qualidade dos dados oferecendo melhor resolução radiométrica e espectral em relação ao RESOURCESAT-1. O *Quadro 1* mostra as principais características do Resourcesat 2.

Quadro 1 - Detalhes das características técnicas do satélite Resourcesat 2.

<b>Especificações</b>	<b>Resourcesat 2</b>
Instrumento/Sensor	LISS 3 e AWiFS
Operadora/Instituição Responsável	Indian Space Research Organization (ISRO)
País	Índia
Situação Atual	Ativo
Lançamento	20/04/2011
Altitude	822 km
Inclinação	98.73°
Órbita	Circular Polar Heliossíncrona
Faixa Imageada	LISS 3: 141 Km   AWiFS: 810 Km
Tempo de Duração da Órbita	101,35 min
Horário da Passagem	09h / 12h
Período de Revisita	LISS 3: 24 dias   AWiFS: 5 dias
Resolução Espacial	LISS 3: 23,5m   AWiFS: 56m

Fonte: Embrapa, 2018.



Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, o sensor LISS-III, foi desenvolvido em duas versões: a primeira a bordo dos satélites IRS-1C e IRS-1D, operando em quatro comprimentos de onda e oferecendo resoluções espaciais diferenciadas, variando entre 23,6 a 180 metros em cenas de 142 ou 148 km; a segunda versão do LISS-III foi lançada a bordo do satélite IRS-P6 ou RESOURCESAT-1 onde as principais mudanças apresentadas foram na resolução espacial que passou a ser de 23,5 metros para todos os canais espectrais, em faixas imageadas de 141 km, conforme características técnicas do *Quadro 2*. Os satélites que possuem este sensor a bordo fornecem informações relacionadas a vegetação natural, caracterização de culturas e espécies vegetais.

Quadro 2 - Detalhes das características técnicas das bandas espectrais e resoluções do satélite Resourcesat 2.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
LISS III (Linear Imaging Self-Scanner) Satélites RESOURCESAT-1 e RESOURCESAT-2	Verde	0.52-0.59 $\mu\text{m}$	23,5 m	24 dias	141 km	10 bits (RESOURCESAT-2)
	Vermelho	0.62-0.68 $\mu\text{m}$				
	Infravermelho próximo	0.77-0.86 $\mu\text{m}$				
	Infravermelho médio	1.55-1.70 $\mu\text{m}$				

Fonte: Embrapa, 2018.

As outras duas imagens utilizadas neste trabalho de pesquisa foram do satélite SENTINEL 2, obtidas junto ao catálogo de imagens digitais do Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS, operadas pela Agência Espacial Europeia – ESA. Foram utilizadas duas imagens do satélite Sentinel 2, com datas de 11 de janeiro de 2018 e 07 de maio de 2018, obtidas junto ao catálogo digital de imagens orbitais do sistema SENTINEL 2, disponíveis junto ao catálogo de imagens digitais do Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS, com missão desenvolvida e operada pela Agência Espacial Europeia – ESA. Para este trabalho, as duas imagens orbitais foram associadas aos campos 3 e 4, relacionadas às coletas dos dados limnológicos.

O sistema Sentinel 2 forma uma missão imageadora multispectral do Programa GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) conjuntamente administrada pela Comunidade Europeia e a ESA, para observação da Terra, realizando coleta de dados sobre a vegetação, solos e humidade, rios e áreas costeiras, e dados para correção atmosférica (absorção e distorção) em alta resolução (10 m), e com alta capacidade de revisita (5 dias), para garantir

a continuidade dos dados fornecidos pelo SPOT 5 e Landsat 7 (ESA, 2018). O *Quadro 3* mostra as principais características do sistema de satélite Sentinel 2.

Quadro 3 - Detalhes das características técnicas do satélite Sentinel 2.

<b>Especificações</b>	<b>Sentinel 2</b>
Instrumento/Sensor	MSI
Operadora/Instituição Responsável	Comunidade Europeia e Agência Espacial Europeia – ESA.
País	Europa
Situação Atual	Ativo
Lançamento	07 de março de 2017
Altitude	786 km
Inclinação	98.5623°
Órbita	Circular, heliossíncrona, descendente
Faixa Imageada	290 Km
Horário da Passagem	10:30 AM
Período de Revisita	10 dias
Resolução Espacial	Bandas 02, 03, 04 e 08: 10m

Fonte: ESA, 2018.

O sensor do Sentinel 2 fornece 13 bandas espectrais para aplicações no monitoramento agrícola, detecção de desastres, estudo de material suspenso na atmosfera, etc. No *Quadro 4*, podemos observar a organização das faixas espectrais do sensor que foram utilizadas nesta pesquisa de acordo com a resolução espacial.

Quadro 4 - Detalhes das características técnicas das bandas espectrais e resoluções do satélite Sentinel 2.

<b>Resolução</b>	<b>Nº da Banda</b>	<b>Nome da Banda</b>	<b>Comprimento de Onda Central (nanômetro)</b>	<b>Combinações de Bandas</b>
10 m	B02	Blue (Azul)	490	Cor Verdadeira RGB 432 Falsa Cor 1 e 2 RGB 843 e 483
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho próximo)	842	

Fonte: ESA, 2018.

O *Quadro 5*, mostra em melhores detalhes a comparação entre as datas de coletas dos dados de campo em relação as datas das imagens de satélites. Dessa forma, podemos observar a defasagem de dias entre a data de coleta dos dados limnológicos e a data de passagem de coleta das imagens orbitais pelos satélites, para cada estação do ano.

Quadro 5 – Detalhamento das datas de coletas de dados limnológicos em relação aos satélites.

<b>Campo</b>	<b>Estação</b>	<b>Data (campo)</b>	<b>Imagem</b>	<b>Dias de diferença</b>	<b>Satélite</b>
1	Inverno	07/08/15	09/08/15	2 dias	Resourcesat 2
2	Primavera	20/11/15	07/12/15	17 dias	Resourcesat 2
3	Verão	11/01/18	08/01/18	3 dias	Sentinel 2
4	Outono	07/05/18	08/05/18	1 dia	Sentinel 2

A identificação e o mapeamento do uso da terra e a sua quantificação foram determinadas com a classificação supervisionada “pixel a pixel”, os quais são realizados após a elaboração de uma composição falsa-cor (RGB832 para as imagens do Sentinel 2 e RGB543 para as imagens Resourcesat 2) com o uso da banda do infravermelho. Nessa composição, os corpos d’água mostram-se em tons azulados, as florestas e outras formas de vegetação em tons esverdeados e os solos expostos em tons avermelhados.

Na classificação supervisionada realizada nesta pesquisa, o uso da terra foi identificado na imagem de satélite para compreender a dinâmica das áreas agrícolas de acordo com seus padrões de resposta espectral em quatro classes temáticas. As quais foram representadas por áreas florestais, água, cultivo agrícola e solo exposto. Na área analisada nesta pesquisa não foram identificadas áreas urbanas nem áreas de campo. As áreas de treinamento foram delimitadas por polígonos desenhados sobre cada uso da terra na imagem. As classes temáticas de interesse para o trabalho são definidas de acordo com o *Quadro 6*.

Quadro 6 - Tipos de amostras coletadas conforme cada classe temática.

<b>Classe Temática</b>	<b>Tipo amostral</b>
Áreas florestais	Correspondem as florestas nativas e áreas de florestamento;
Água	Englobam rios, açudes e reservatórios
Cultivo Agrícola	Destinada a todas as áreas agrícolas em pousio, permanentes ou cíclicas;
Solo Exposto	Compreendem as áreas com o solo sem cobertura vegetal e rochas expostas.

Em seguida, foram indicados os nomes de cada classe de uso da terra, associados aos seus respectivos identificadores, criando-se um arquivo de assinaturas espectrais para as categorias. A análise das amostras onde foi realizada a classificação utilizou-se o algoritmo de Máxima Verossimilhança, o qual consiste num método de classificação "pixel a pixel" que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes utilizando parâmetros estatísticos. Todas as imagens foram classificadas utilizando essa mesma metodologia.

### **3.2.5 Espacialização das variáveis limnológicas**

A espacialização dos dados limnológicos (temperatura do ar, temperatura da água, Condutividade Elétrica, Totais de Sólidos Dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de Sólidos em Suspensão e Potássio) foi obtida com a inserção dos valores das variáveis limnológicas no banco de dados do software de geoprocessamento, através do modelo numérico do terreno (MNT). Para cada variável limnológica, em cada mês, foi gerada uma grade retangular e utilizado como interpolador IDW (*Inverse Distance Weighting*), para posterior fatiamento em 30 classes temáticas.

As interpolações realizadas com os dados das variáveis limnológicas também mostram uma estimativa de que se houvesse água naquele local teriam aquele valor gerado pela interpolação, mesmo não havendo drenagens em toda a área em que foram interpolados os dados limnológicos.

Após a tabulação e espacialização dos dados limnológicos e da elaboração dos mapas de uso da terra da área de captação do reservatório Rodolfo Costa e Silva, foram gerados gráficos dos valores de cada variável. As variáveis limnológicas foram avaliadas pela estatística descritiva e suas relações foram cruzadas com as informações das imagens classificadas.

### **3.2.6 Tratamento Estatístico**

Quanto à análise estatística os dados de temperatura do ar, temperatura da água, Condutividade Elétrica, Totais de Sólidos Dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de Sólidos em Suspensão e Potássio foram tabelados no *software Excel* e aplicados os testes estatísticos de acordo com cada campo de coleta dos dados. Dentre os testes estatísticos utilizados faz-se referência a: a) correlação, que avalia a associação existente entre duas

variáveis; b) a dispersão, que avalia o quanto os dados são diferentes e distam de um valor central; c) a regressão, que informa que fração da variabilidade de uma característica é explicada estatisticamente pela outra variável.

Considerando a relação entre as variáveis, uma função pode explicar a variação de  $Y$  em  $X$ , dada por  $y = A+Bx$ . A regressão linear simples também conhecida como coeficiente de determinação, é o quadrado do coeficiente de correlação e fornece o valor médio de variabilidade de uma variável em função da outra (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Para este trabalho optou-se por utilizar um erro médio de 0,05% correspondente a um nível de significância  $\alpha = 95\%$ . Neste teste, quando o valor do  $t$  calculado a partir do dado de correlação encontrado entre duas variáveis é maior que o valor encontrado na tabela  $t$  Student, pode-se afirmar que a correlação entre os dados é estatisticamente significativa (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

### 3.2.7 Dados Pluviométricos

Para obtenção dos dados de precipitação pluviométrica da área de estudo foram considerados 30 dias de antecedência à data de coleta dos dados de campo, com o intuito de complementar as análises dos dados relacionados com as datas que ocorreram as coletas. Os dados foram consultados diretamente no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para os municípios registrados oficialmente no instituto localizados nas proximidades da área de captação do reservatório Rodolfo Costa e Silva e tabulados para posterior interpretação juntamente com os demais dados em análise.

Devido a confiança na fonte das informações foram utilizados os dados de precipitação do INMET de dez estações meteorológicas (Figura 15) localizadas aleatoriamente pelo estado do Rio Grande do Sul e que contempla toda a área de captação em análise, sendo elas Bagé, Caxias do Sul, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Pelotas, Santa Maria, São Luiz Gonzaga, Uruguaiana.

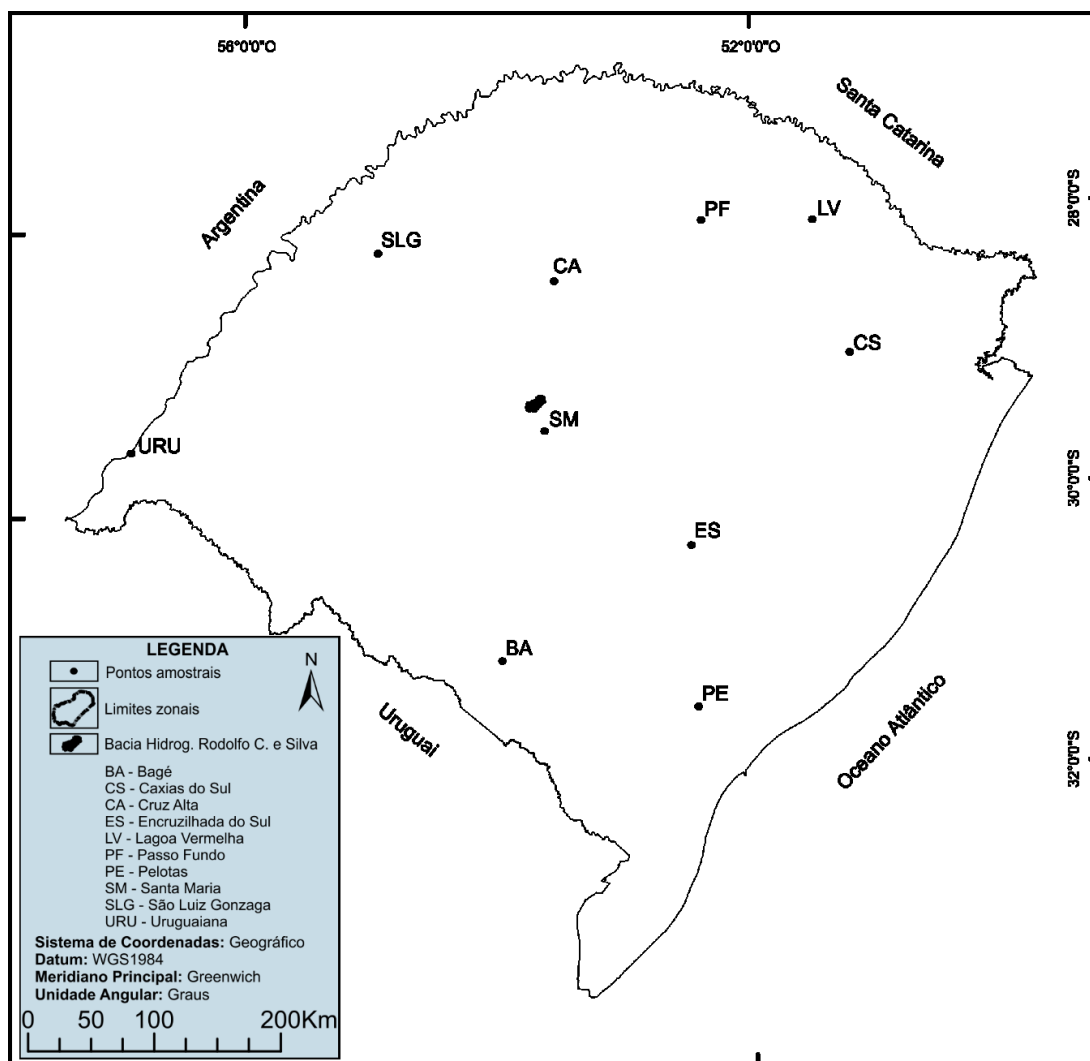
Os dados foram consultados diretamente no site do INMET, conforme as estações pluviométricas do *Quadro 7*.

Quadro 7 - Estações pluviométricas mais próximas da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

Código Pluviométrico da Estação	Nome da Estação Pluviométrica
83980	Bagé
83942	Caxias do Sul
83912	Cruz Alta
83964	Encruzilhada do Sul
83916	Lagoa Vermelha
83914	Passo Fundo
83985	Pelotas
83907	São Luiz Gonzaga
83936	Santa Maria
83927	Uruguaiana

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

Figura 15 – Mapa de localização das estações meteorológicas, com coleta de dados pluviométricos históricos do INMET, mais significativas para a área de estudo.



Fonte: adaptado de INMET.

Para a espacialização dos dados pluviométricos, os valores do total mensal acumulado de chuva foram inseridos no banco de dados geográfico gerado no *software* ArcMap, na forma de modelo numérico do terreno (MNT). Então, foi gerada uma grade retangular e utilizado o interpolador IDW (*Inverse Distance Weighting*), para posterior fatiamento em 30 classes temáticas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados referentes a presente pesquisa encontra-se dividida em quatro partes principais: 1) resultados dos mapas temáticos; 2) resultados das variáveis limnológicas (Temperatura do ar, Temperatura da água, Condutividade elétrica, Totais de sólidos dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de sólidos em suspensão e Potássio); 3) resultados da análise dos dados pluviométricos; 4) resultados das análises estatísticas; 5) análise integrada entre o ambiente terrestre/aquático e a importância do reservatório.

### 4.1 ANÁLISE DOS MAPAS TEMÁTICOS

Na análise dos mapas temáticos para este trabalho de pesquisa foram considerados o mapa clinográfico, o mapa de orientação de vertentes, o mapa hipsométrico e os mapas de uso da terra para cada campo, conforme podemos observar a seguir.

#### 4.1.1 Mapa Clinográfico

O Mapa de Clinografia mostra a distribuição espacial das classes temáticas das diversas declividades na bacia hidrográfica. O mapa clinográfico constitui-se em um importante instrumento de representação e apoio a estudos de potencialidade de uso, quando correlacionado a outros fenômenos geográficos, como uso da terra, por exemplo. Através da espacialização dos elementos naturais da paisagem puderam-se inferir algumas análises a respeito do recorte espacial. A Figura 16 representa o mapa de declividade, com a definição de cinco classes respectivamente: 0 - 5%, 5,1 - 12%, 12,1 - 30%, 30,1 - 45% e >45%.

As áreas com declives inferiores a 5% representam 41,85% da área total e estão localizadas próximas a áreas norte e nordeste da bacia hidrográfica. Esta classe compreende as áreas favoráveis à ocupação e ao uso agrícola. Na Tabela 1 estão os valores de área em hectares representados em cada uma das classes.



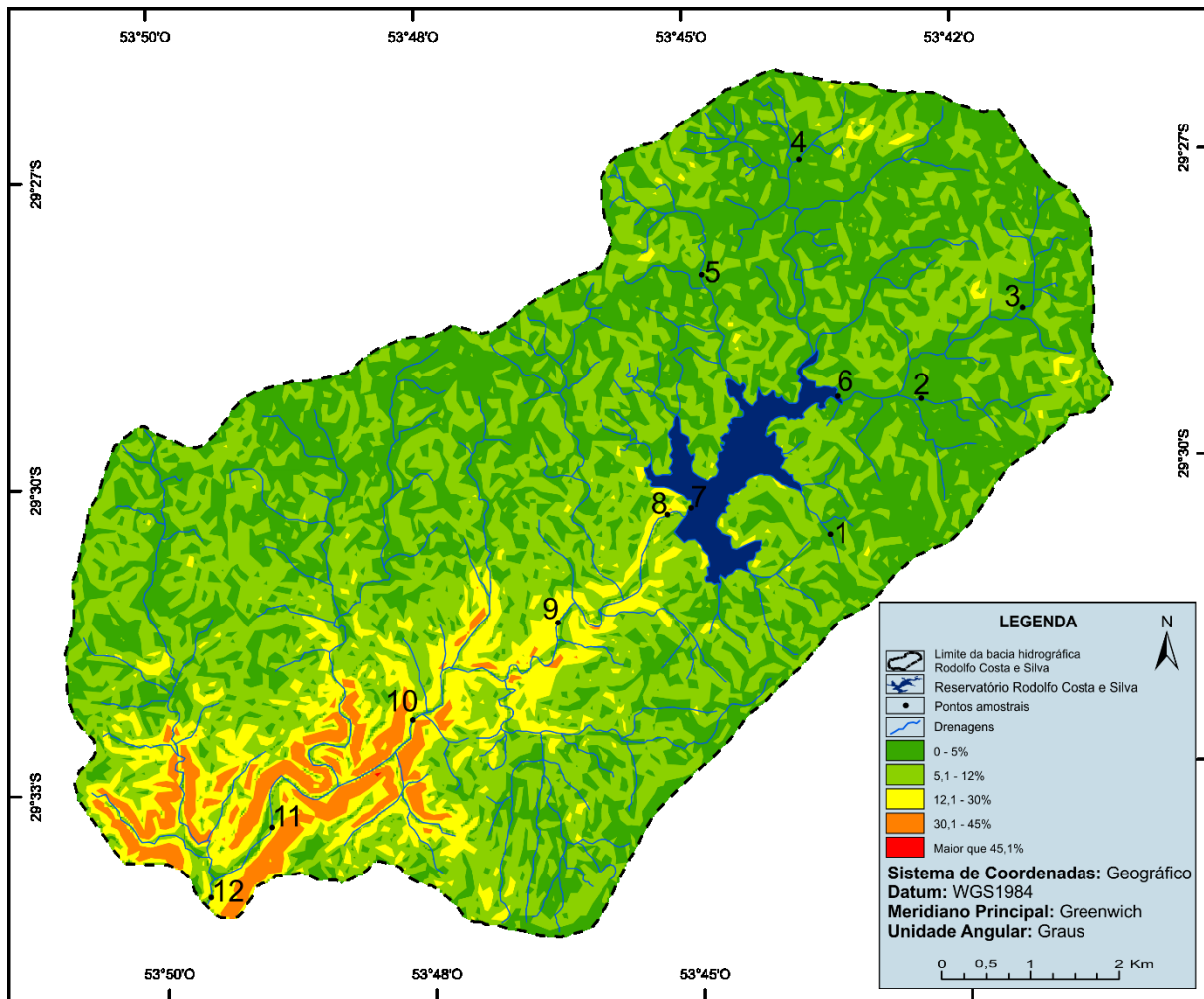
TABELA 1 - Classificação do Mapa Clinográfico.

<b>Classes (%)</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
0 – 5	5.762,80	41,85
5,1 – 12	5.694,00	41,35
12,1 – 30	1.572,40	11,42
30,1 – 45	740,24	5,38
Maior que 45	0,57	0,005
<b>Total</b>	<b>13.770,01</b>	<b>100,00</b>

A classe de 0 a 5% é a que possui maior representatividade, compreende 5.762,80ha, a qual representa 41,85% das classes temáticas analisadas e aparece nas áreas localizadas ao centro-norte e nordeste, e compreende áreas com pequenas restrições em relação ao uso e ocupação. A classe clinográfica com declive superior a 45% apresentou menor área, apenas com 0,57ha, a qual não chegou a representar 1% da área total analisada e está distribuída próxima a porção sul da bacia hidrográfica. Nesta classe, é necessária a adoção de medidas preventivas de riscos geoambientais.

Neste estudo também podemos observar que na relação da declividade com a erodibilidade podemos observar que a bacia hidrográfica apresentou maior tendência à erosão nas áreas com as menores declividades, pois nestas áreas encontram-se os maiores usos agrícolas. Estas áreas estão localizadas principalmente nas partes a montante do reservatório Rodolfo Costa e Silva. Enquanto que na porção a jusante do reservatório, onde encontra-se a reserva ambiental do Ibicuí-Mirim e há maior preservação ambiental, coincide com as áreas de maior declividade e ocorre tendência menor à erosão.

Figura 16 – Mapa Clinográfico da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



#### 4.1.2 Mapa de Orientação de Vertentes

A Figura 17 apresenta o mapa de orientação de vertentes da área de captação da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Este mapa foi desenvolvido por se tratar de uma área bastante complexa e possui suas direções de vertentes no decorrer da área analisada dessas feições topográficas. A convenção utilizada se baseia na tonalidade das cores. As cores quentes representam as vertentes mais expostas ao sol, assim o vermelho, considerado o tom mais quente corresponde à exposição Norte, enquanto que o verde, considerada a cor mais fria, corresponde à exposição Sul, que no hemisfério sul é a de menor insolação.

Ao analisar a Tabela 2, referente a classificação do mapa de orientação de vertentes, observa-se a definição de quatro classes respectivamente: norte, sul, leste, oeste. As áreas com orientação a Norte apresentam a menor área com 2.688,09ha, as quais representam 19,52% da área total e estão espacialmente distribuídas em praticamente toda a bacia hidrográfica. Esta

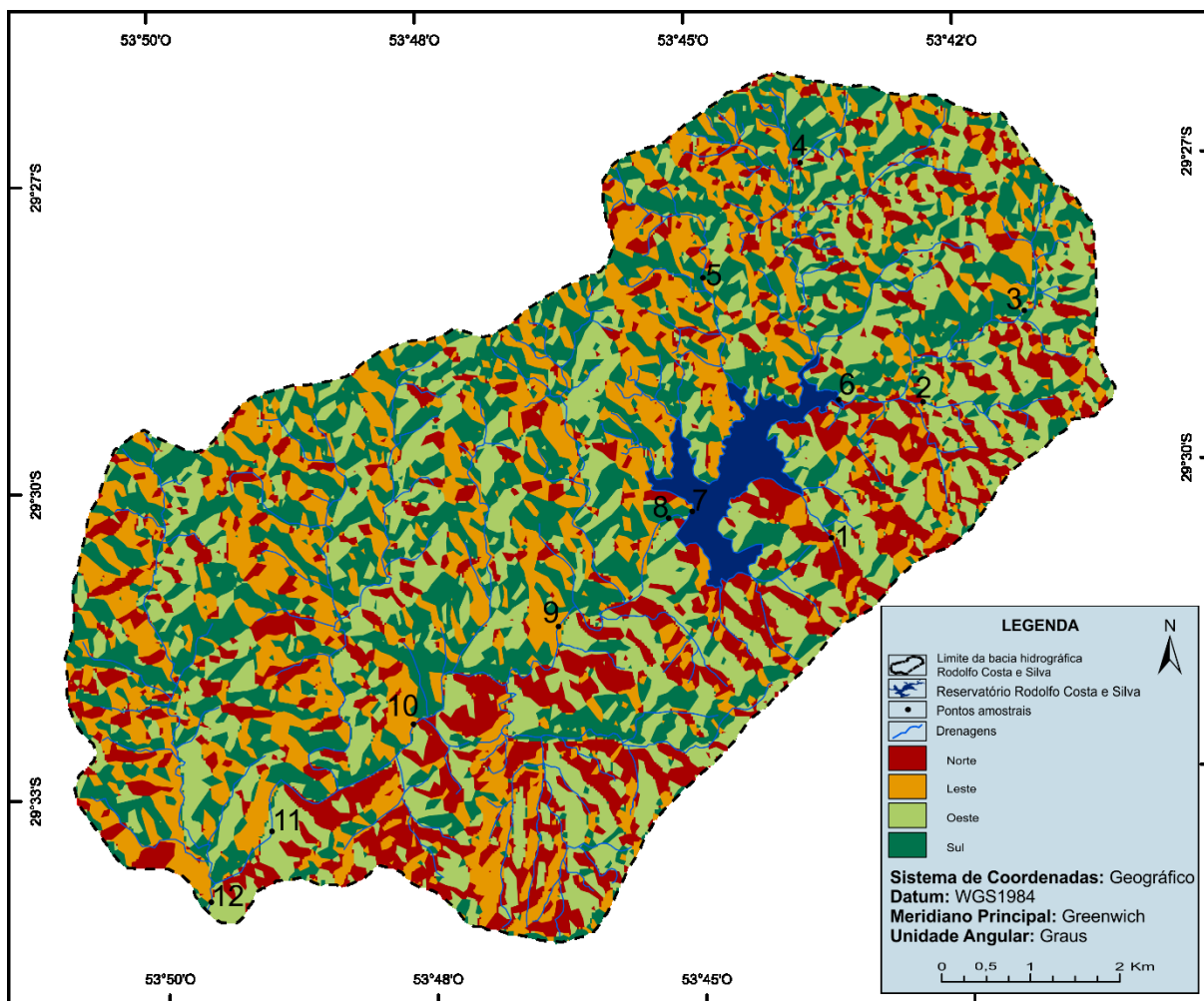
classe temática está distribuída principalmente na porção onde há maior presença de áreas agrícolas da bacia hidrográfica, como poderemos observar nos mapas de uso da terra, na sequência dos mapas temáticos. Na Tabela 2 podemos observar todos os valores das áreas em hectares e em porcentagem representados em cada uma das classes.

TABELA 2 - Classificação do Mapa de Orientação de Vertentes.

<b>Classes (Orientação)</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Norte	2.688,09	19,52
Leste	3.371,62	24,49
Oeste	4.086,66	29,68
Sul	3.623,63	26,32
<b>Total</b>	<b>13.770,00</b>	<b>100,00</b>

A classe temática de orientação Oeste é a que possui maior representatividade, compreende 4.086,66ha, a qual representa 29,68% das classes temáticas analisadas e aparece também com certa uniformidade em quase toda a área analisada. O Mapa de Orientação de vertentes mostra a distribuição espacial das classes temáticas das diversas orientações na bacia hidrográfica.

Figura 17 – Mapa de Orientação de Vertentes da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



#### 4.1.3 Mapa Hipsométrico

Os dados obtidos a partir do Mapa Hipsométrico (Figura 18), contribuíram para melhor análise do estudo proposto e demonstraram melhor visualização das unidades geomorfológicas presentes na configuração do relevo da bacia hidrográfica. As altitudes que correspondem a área de estudo apresentam duas classes de maior relevância: as porções norte e nordeste, destacando-se as classes hipsométricas entre 402 a 462 e 462 a 522 metros, respectivamente (Tabela 3). O relevo desta região é característico de planalto da bacia do rio Paraná.

A classe hipsométrica de maior representatividade é a de 402 a 462 metros, a qual abrange 5.839,99 hectares e corresponde a 42,41% da área total, esta classe, juntamente com a classe de 462 a 522 metros, representam áreas de planalto com relevo menos colinoso e encontram-se mais saliente na porção norte-nordeste. A classe hipsométrica entre 222 e 282

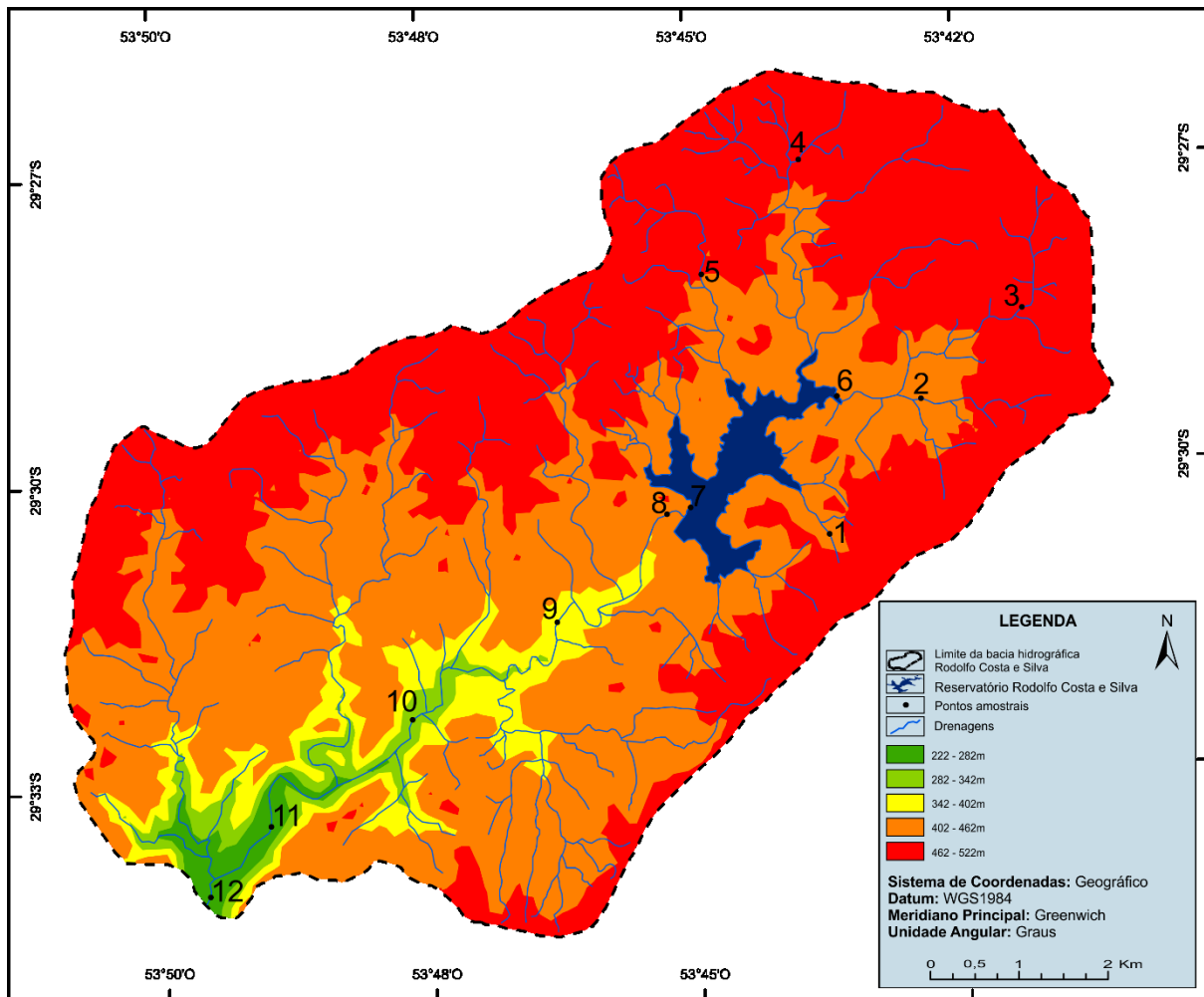
metros, representa a menor área das classes temáticas analisadas (546,04ha) e corresponde apenas 3,97% da área total, sendo observada principalmente na parte sul e sudoeste.

TABELA 3 - Classificação do Mapa Hipsométrico.

<b>Classes (metros)</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
222 – 282	546,04	3,97
282 – 342	767,52	5,57
342 – 402	904,37	6,57
402 – 462	5.839,99	42,41
462 – 522	5.712,19	41,48
<b>Total</b>	<b>13.770,11</b>	<b>100,00</b>

O Mapa de Hipsométrico mostra a distribuição espacial das classes temáticas das diversas altimetrias na bacia hidrográfica, facilitando assim a visão espacial das áreas com maiores ou menores altitudes do relevo.

Figura 18 – Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



#### 4.1.4 Mapas de Uso da Terra

O uso intenso do solo devido às atividades agrícolas, em geral provoca a eliminação da cobertura vegetal natural e promove o desencadeamento de processos de erosão acelerada dos solos. A caracterização e espacialização do potencial e predisposição aos riscos à erosão dos solos, devido à ação hídrica de superfície, podem ser conduzidas utilizando tecnologias de Sensoriamento Remoto e SIG, que possibilitam a aquisição, manipulação, integração e espacialização dos dados.

Com base na combinação falsa cor (RGB543 e RGB832, respectivamente) utilizando a banda do infravermelho do satélite Resourcesat 2 para os dois primeiros campos e do satélite Sentinel 2 para os dois últimos campos foram determinadas as classes de uso da terra, a partir das quais foi possível selecionar polígonos homogêneos nas imagens, classificar e mapear a bacia hidrográfica do reservatório estudado.

A quantificação do uso da terra na bacia hidrográfica, de um modo geral, permitiu espacialização dos diferentes tipos de uso da terra. Os mapas de uso da terra foram obtidos utilizando as imagens do satélite Resourcesat 2 de 07 de agosto de 2015 e 20 de novembro de 2015 e as imagens do satélite Sentinel 2 de 11 de janeiro de 2018 e 07 de maio de 2018, para este trabalho estabelecidas como campo 1, campo 2, campo 3 e campo 4, respectivamente, através da técnica de classificação pixel a pixel por máxima verossimilhança (MAXVER).

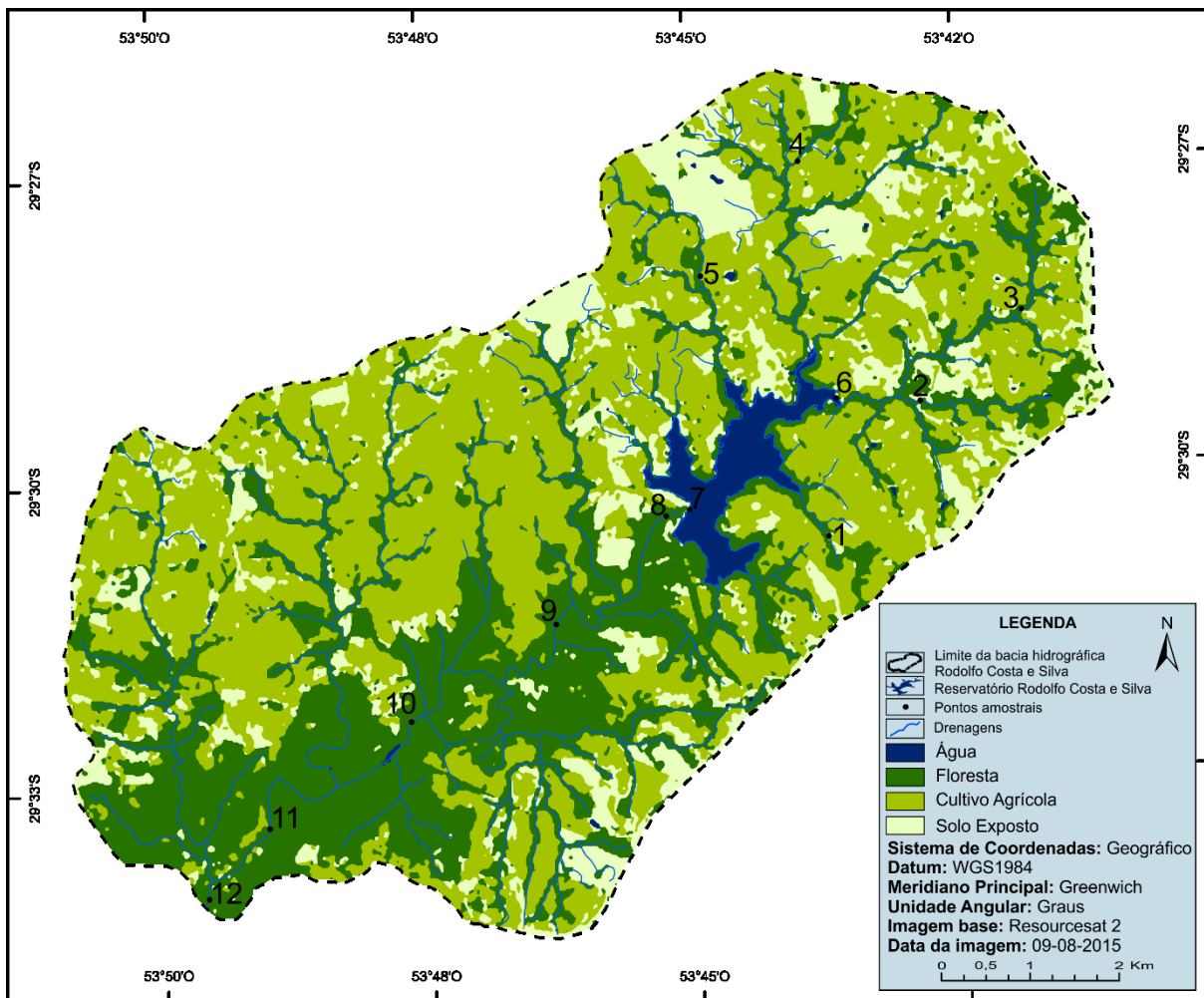
Ao analisar a distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra do campo 1 (07/08/2015), apresentado na Figura 19, foi possível quantificar a área e o percentual de cada uma das classes permitindo identificar as características de uso e ocupação da terra na área em estudo. Para a classe de florestas foram consideradas todas as áreas com florestas nativas e áreas de reflorestamento em que tivessem uma resposta espectral do mesmo padrão.

Diante das observações da *Tabela 4* pode-se constatar que as áreas com cultivo agrícola (6.442,13ha) representam a maior parte do uso (46,78%) no campo 1 (07/08/2015), encontradas principalmente na porção norte e nordeste da bacia hidrográfica. A segunda maior representação refere-se à presença de florestas (4.685,82ha) delineando aproximadamente 34,03% total dos usos, identificados principalmente na porção sul da bacia, a jusante do reservatório. Quanto à classe de solo exposto (2.067,41ha) presentes na área estudada, esta representa em torno de 15,01% do total e são encontradas principalmente na porção norte e nordeste intercaladas com as áreas de culturas, porque o cultivo agrícola de inverno (principalmente trigo, aveia, azevém e cevada) ainda se encontra em pequeno porte, não sendo ainda suficiente para demonstrar uma resposta espectral do mesmo padrão do cultivo agrícola.

TABELA 4 - Classificação do Mapa de Uso da Terra - campo 1 (07/08/2015).

<b>Classes</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Floresta	4.685,82	34,03
Cultivo Agrícola	6.442,13	46,78
Solo Exposto	2.067,41	15,01
Água	574,98	4,18
<b>Total</b>	<b>13.770,34</b>	<b>100,00</b>

Figura 19 – Classificação de uso da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva – campo 1 (07/08/2015).



Ao analisar a distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra do campo 2 (20/11/2015), apresentado na Figura 20, foi possível quantificar a área e o percentual de cada uma das classes permitindo identificar as características de uso e ocupação da terra na área em estudo. As classes de água e florestas as áreas apresentaram padrão semelhante ao campo 1 (07/08/2015).

Diante das observações da *Tabela 5* pode-se constatar que as áreas com cultivo agrícola (5.840,29ha) representam a maior parte do uso (42,41%) para o campo 2 (20/11/2015), também encontradas principalmente na porção norte e nordeste da bacia hidrográfica. A segunda maior representação refere-se à presença de florestas (4.874,09ha) delineando aproximadamente 35,40% total dos usos, identificados principalmente na porção sul da bacia, na sessão a jusante do reservatório e nas proximidades das matas-galeria, próximas as redes de drenagens. Quanto à classe de solo exposto (2.471,70ha) presentes na área estudada, esta representa em torno de

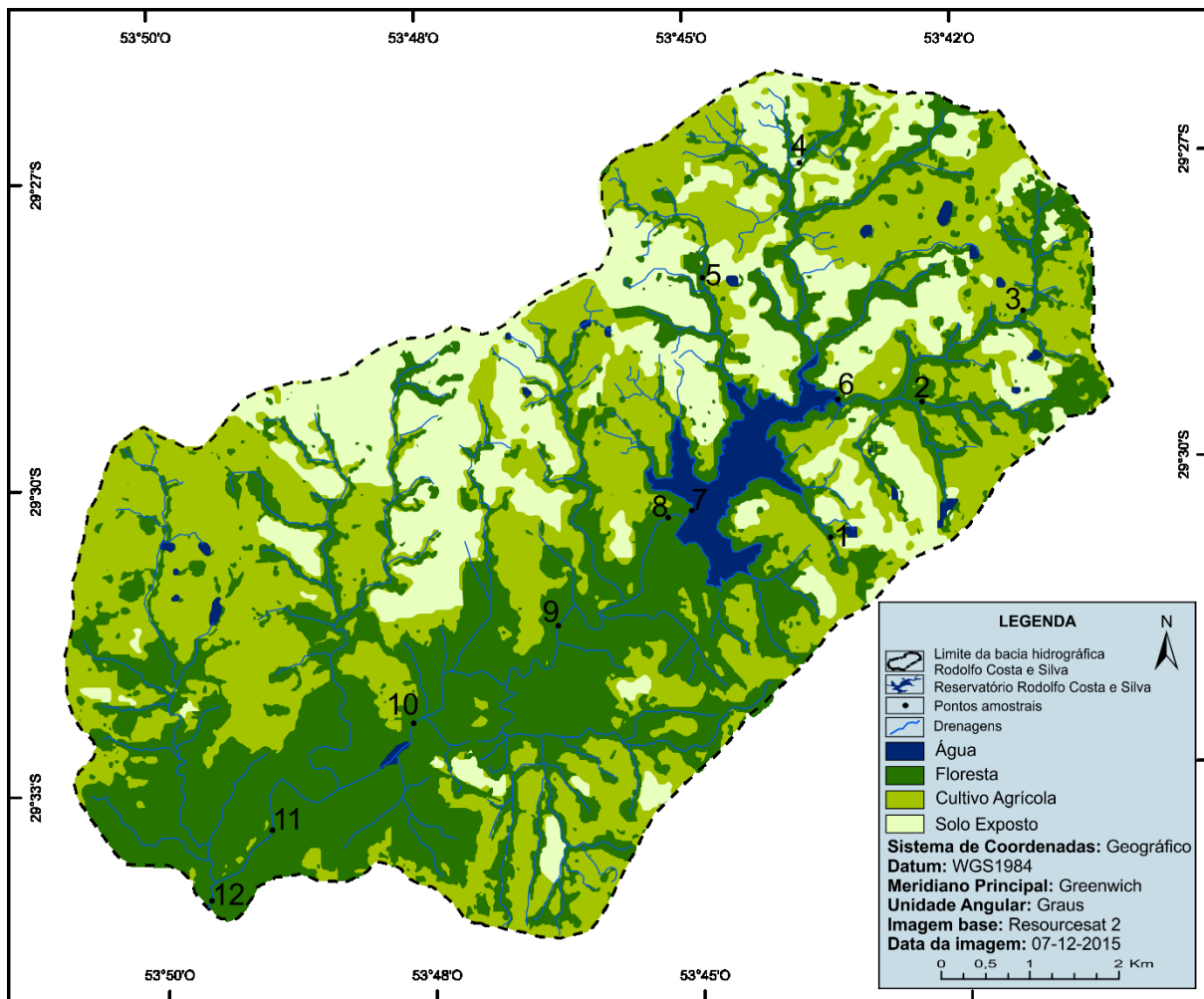


17,95% do total e são encontradas principalmente na porção norte e nordeste mescladas com as áreas agrícolas, no entanto com áreas mais bem definidas em relação ao campo 1 (07/08/2015), porque o cultivo agrícola estava em estágio final de desenvolvimento, tornando assim mais bem definidas as diferenças de resposta espectral entre as classes estabelecidas neste trabalho. Podemos observar também que houve um aumento de apenas 2,94% das áreas de solo exposto em relação ao campo 1 (07/08/2015), associadas ao momento de transição entre as culturas, áreas estas sendo preparadas para novos cultivos agrícolas, principalmente de soja e milho.

TABELA 5 - Classificação do Mapa de Uso da Terra - campo 2 (20/11/2015).

<b>Classes</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Floresta	4.874,09	35,40
Cultivo Agrícola	5.840,29	42,41
Solo Exposto	2.471,70	17,95
Água	584,40	4,24
<b>Total</b>	<b>13.770,48</b>	<b>100,00</b>

Figura 20 – Classificação de uso da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva – campo 2 (20/11/2015).



Ao analisar a distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra do campo 3 (11/01/2018), apresentado na Figura 21, foi possível quantificar a área e o percentual de cada uma das classes permitindo identificar as características de uso e ocupação da terra na área em estudo. Para a classe de água e florestas as áreas apresentaram padrão semelhante em relação aos dados obtidos nos campos 1 e 2.

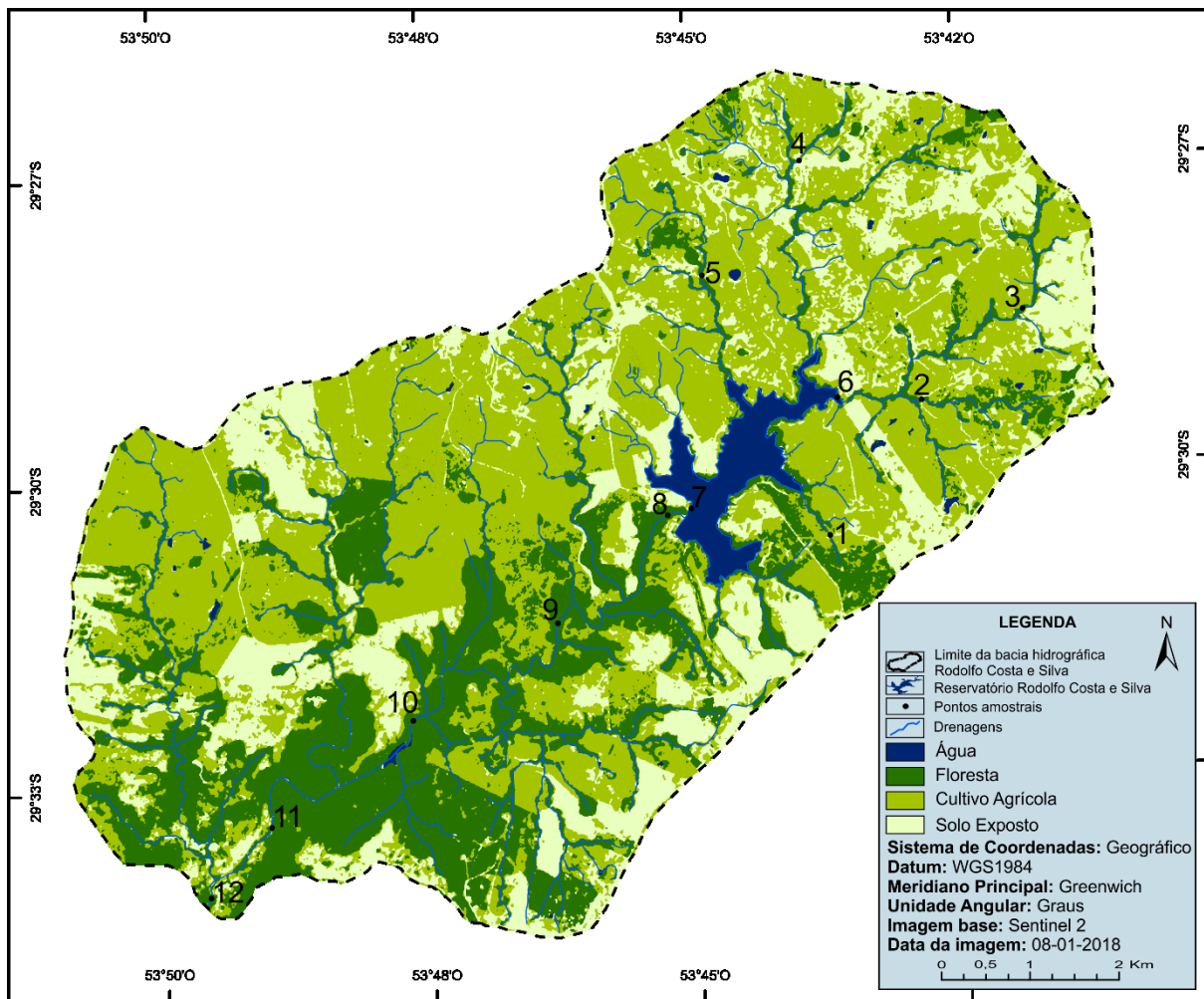
Diante das observações da *Tabela 6* pode-se constatar que as áreas com cultivo agrícola (6.746,01ha) representam a maior parte do uso (48,99%) para o campo 3 (11/01/2018), também encontradas principalmente na porção norte e nordeste da bacia hidrográfica. A segunda maior representação refere-se à presença de florestas (3.508,73ha) delineando aproximadamente 25,48% total dos usos, identificadas principalmente na porção sul da bacia, na sessão a jusante do reservatório e nas proximidades das matas-galeria, próximas às redes de drenagens, assemelhando-se aos resultados obtidos nos processamentos das imagens relacionadas aos dois

campos anteriores. Quanto à classe de solo exposto (2.981,36ha) presentes na área estudada, esta representa em torno de 21,65% do total e são encontradas principalmente na porção norte e nordeste mescladas com as áreas agrícolas, no entanto com áreas não tão bem definidas em relação ao campo 2 (20/11/2015) e mais semelhantes ao campo 1 (07/08/2015), porque o cultivo agrícola estava de menor porte, tornando assim não tão bem definidas as diferenças de resposta espectral entre as classes estabelecidas neste trabalho. Podemos observar também que houve aumento de 6,64% e 3,7% das áreas de solo exposto em relação aos campos 1 e 2, respectivamente, provavelmente associadas ao momento de transição entre as culturas de inverno e verão e a maior resolução espacial da imagem de satélite utilizada para este campo, no caso, do satélite Sentinel 2, em relação as imagens do satélite Resourcesat 2 utilizadas nos campos anteriores.

TABELA 6 - Classificação do Mapa de Uso da Terra - campo 3 (11/01/2018).

<b>Classes</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Floresta	3.508,73	25,48
Cultivo Agrícola	6.746,01	48,99
Solo Exposto	2.981,36	21,65
Água	534,17	3,88
<b>Total</b>	<b>13.770,27</b>	<b>100,00</b>

Figura 21 – Classificação de uso da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva – campo 3 (11/01/2018).



Ao analisar a distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra do campo 4 (07/05/2018), apresentado na Figura 22, foi possível quantificar a área e o percentual de cada uma das classes permitindo identificar as características de uso e ocupação da terra na área em estudo. Para a classe de água e florestas as áreas apresentaram padrão semelhante em relação aos campos realizados anteriormente.

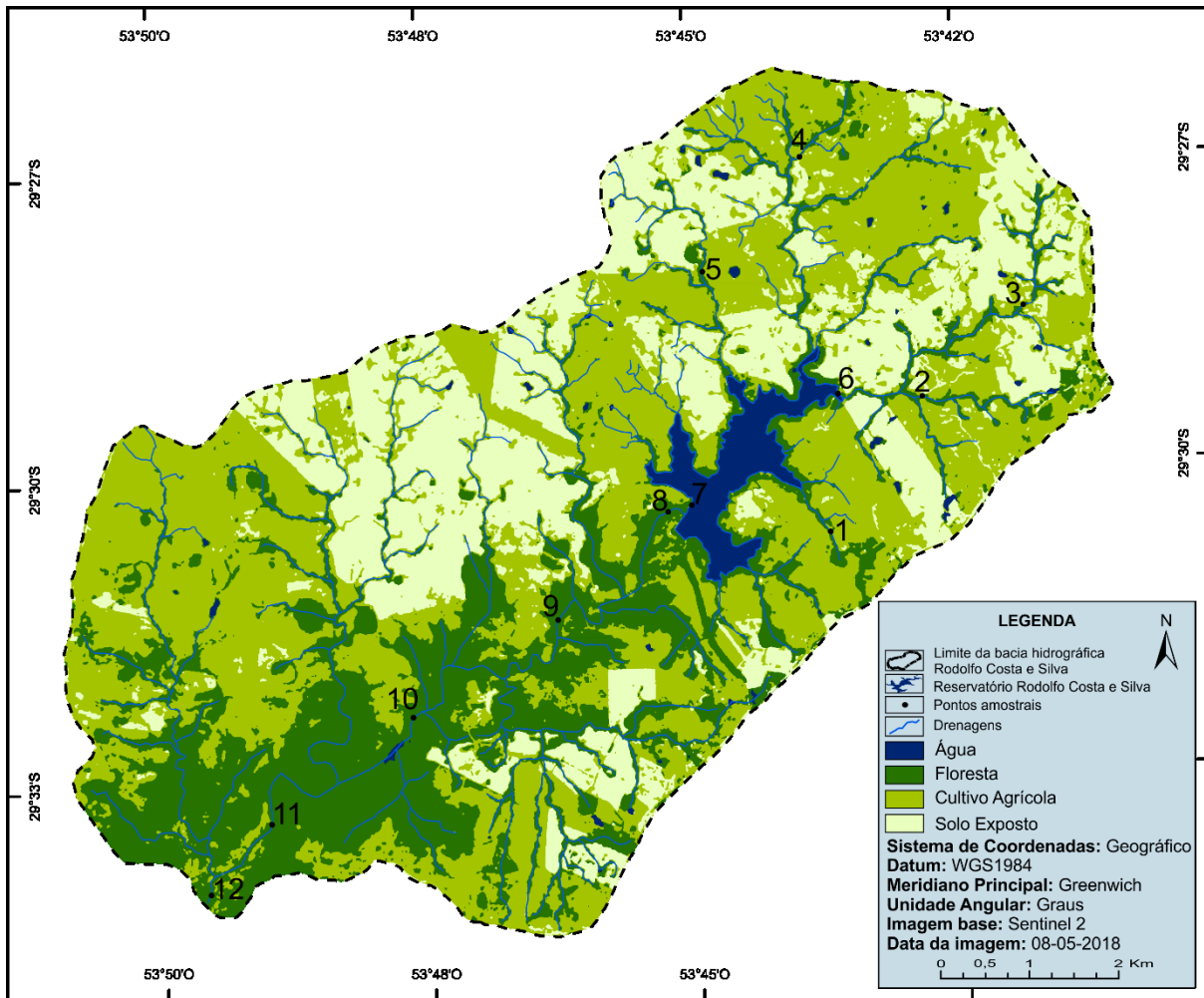
Diante das observações da *Tabela 7* pode-se constatar que as áreas com cultivo agrícola (6.213,02ha) representam a maior parte do uso (45,12%) para o campo 4 (07/05/2018), também encontradas principalmente na porção norte e nordeste da bacia hidrográfica. A segunda maior representação refere-se à presença de florestas (3.551,54ha) delineando aproximadamente 25,79% total dos usos, identificados principalmente na porção sul da bacia, na sessão a jusante do reservatório e nas proximidades das matas-galeria, próximas as redes de drenagens, assemelhando-se aos resultados obtidos nos processamentos dos três campos anteriores. Quanto

à classe de solo exposto (3.482,12ha) presente na área estudada, esta representa em torno de 25,29% do total e é encontrada principalmente na porção norte e nordeste mesclada com as áreas agrícolas, no entanto com áreas um pouco mais bem definidas em relação ao campo 3 (11/01/2018) e mais semelhantes ao campo 2 (20/11/2015), porque nesta época do ano, as culturas agrícolas de verão já estão bem definidas, ou num momento após colheita e preparo do solo para os cultivos de inverno. Podemos observar também que houve um aumento das áreas de solo exposto (10,28%, 6,64% e 3,7%, respectivamente), em relação aos dados obtidos nos campos anteriores, provavelmente associadas ao momento de transição entre as culturas de inverno para o verão e a maior resolução espacial da imagem de satélite utilizada para este campo, no caso, também do satélite Sentinel 2, em relação as imagens do satélite Resourcesat 2 utilizadas nos dois primeiros campos.

TABELA 7 - Classificação do Mapa de Uso da Terra - campo 4 (07/05/2018).

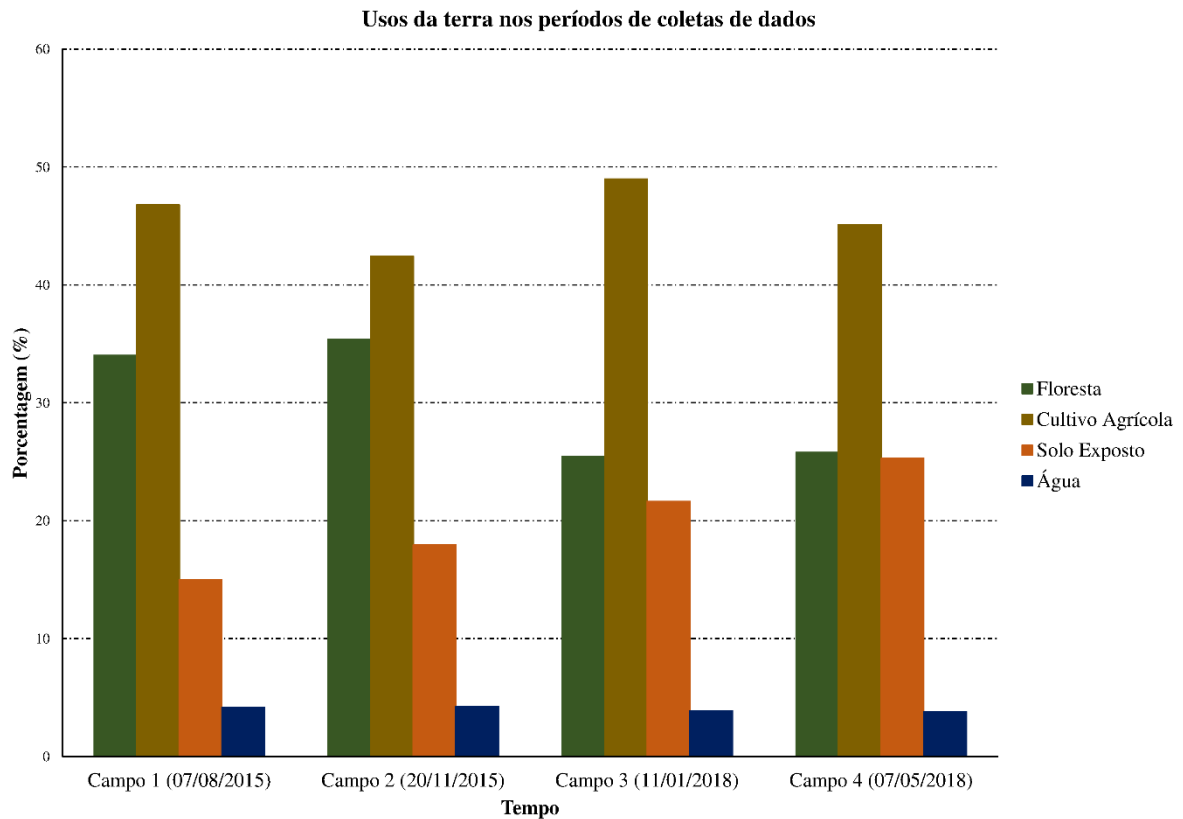
<b>Classes</b>	<b>Área(ha)</b>	<b>%</b>
Floresta	3.551,54	25,79
Cultivo Agrícola	6.213,02	45,12
Solo Exposto	3.482,12	25,29
Água	523,71	3,80
<b>Total</b>	<b>13.770,39</b>	<b>100,00</b>

Figura 22 – Classificação de uso da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva – campo 4 (07/05/2018).



A Figura 23 mostra o gráfico relacionado a porcentagem dos usos da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva em relação aos períodos de coletas de dados. Dessa forma ficou sintetizado as informações das tabelas 4, 5, 6 e 7, facilitando as identificações das variações ocorridas em cada campo. Como podemos observar a classe de floresta teve redução bastante significativa para o ano de 2018 em relação aos dados de floresta do ano 2015. Em contrapartida a isso, as áreas de solo exposto apresentaram aumento significativo e de forma gradual no decorrer do tempo, enquanto que as áreas com água em superfície demonstraram-se bem regulares ao longo do tempo. As áreas de cultivos agrícolas apresentaram pequenas oscilações ao longo do tempo, provavelmente relacionadas aos períodos de cultivos agrícolas de inverno e de verão e de entressafras, visto que as coletas de dados de campo procuraram contemplar todas as estações do ano.

Figura 23 – Gráfico dos usos da terra da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva nos períodos de coletas de dados.



#### 4.2 ANÁLISE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

O registro de chuvas em 30 dias anteriores aos trabalhos de campo para a região próxima ao reservatório Rodolfo Costa e Silva foram realizados com intenção de auxiliar na interpretação dos dados limnológicos e verificar possíveis interferências no comportamento das variáveis. As Figuras 24, 25, 26 e 27 apresentam as médias das variações da precipitação diária do total acumulado nas 10 estações em 30 dias antecedentes aos 4 campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, respectivamente, e demonstram as diferenças dos fenômenos de chuva ocorridos na área.

Os índices pluviométricos apresentaram variação durante o período hidrológico analisado. Os maiores índices reservam-se aos períodos antecedentes aos trabalhos dos campos 1 e 2, realizados no período de 08 de julho à 07 de agosto de 2015 e no período de 21 de outubro a 20 de novembro de 2015, apresentaram média de 233,5mm e 224,3mm, respectivamente, do total acumulado em 30 dias nas 10 estações meteorológicas analisadas. Índices menores foram registrados nos períodos antecedentes as outras duas coletas dos campos 3 e 4 (92mm e 81mm,

respectivamente), realizados nos períodos de 12 de dezembro de 2017 a 11 de janeiro de 2018 e no período de 08 de abril a 07 de maio de 2018. Nos períodos relacionados aos campos 1 e 2, o escoamento superficial é maior devido ao maior índice pluviométrico acumulado que foi registrado para o período (Figuras 24 e 25) e, com isso, o sistema terrestre pode disponibilizar maior carreamento de sedimentos para as redes de drenagem. Do mesmo modo, nos outros dois períodos (campos 3 e 4), representados nas Figuras 26 e 27, com baixos índices de chuva e melhor distribuição à infiltração, esses reduzem o escoamento superficial.

Figura 24 - Índices pluviométricos observados em 30 dias anteriores à realização dos trabalhos do campo 1 (07/08/2015).

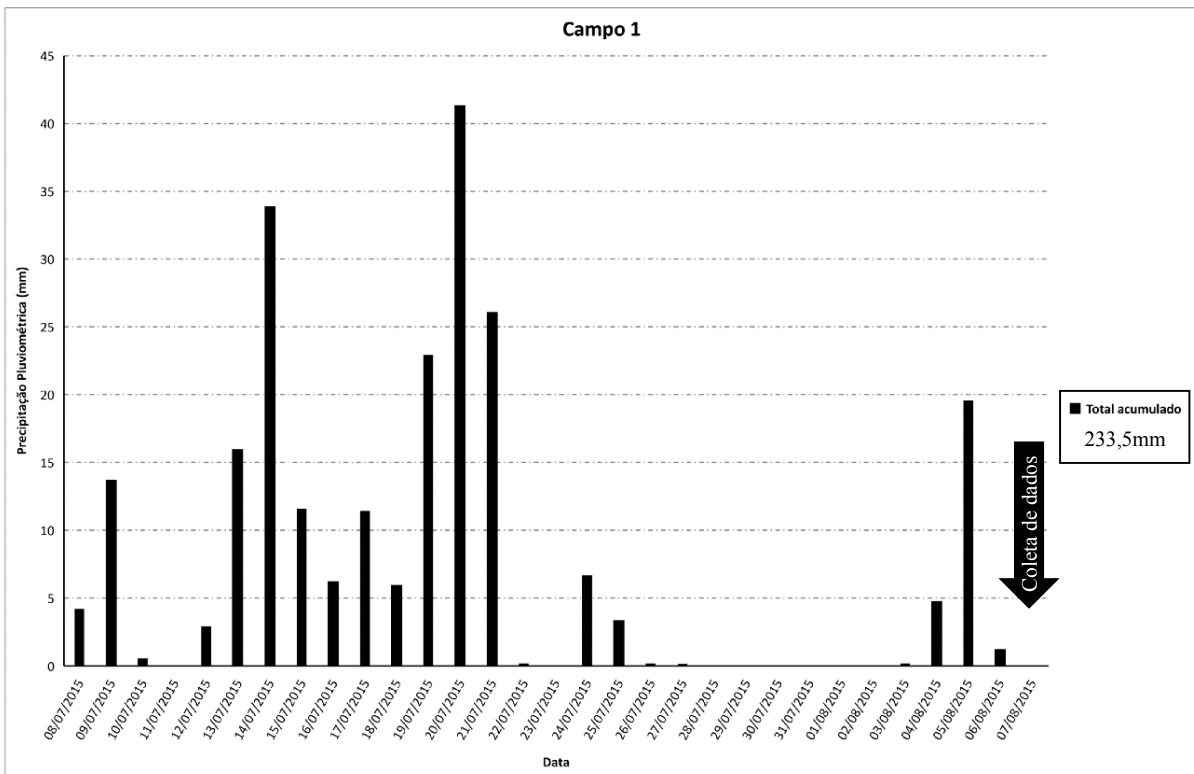




Figura 25 - Índices pluviométricos observados em 30 dias anteriores à realização dos trabalhos do campo 2 (20/11/2015).

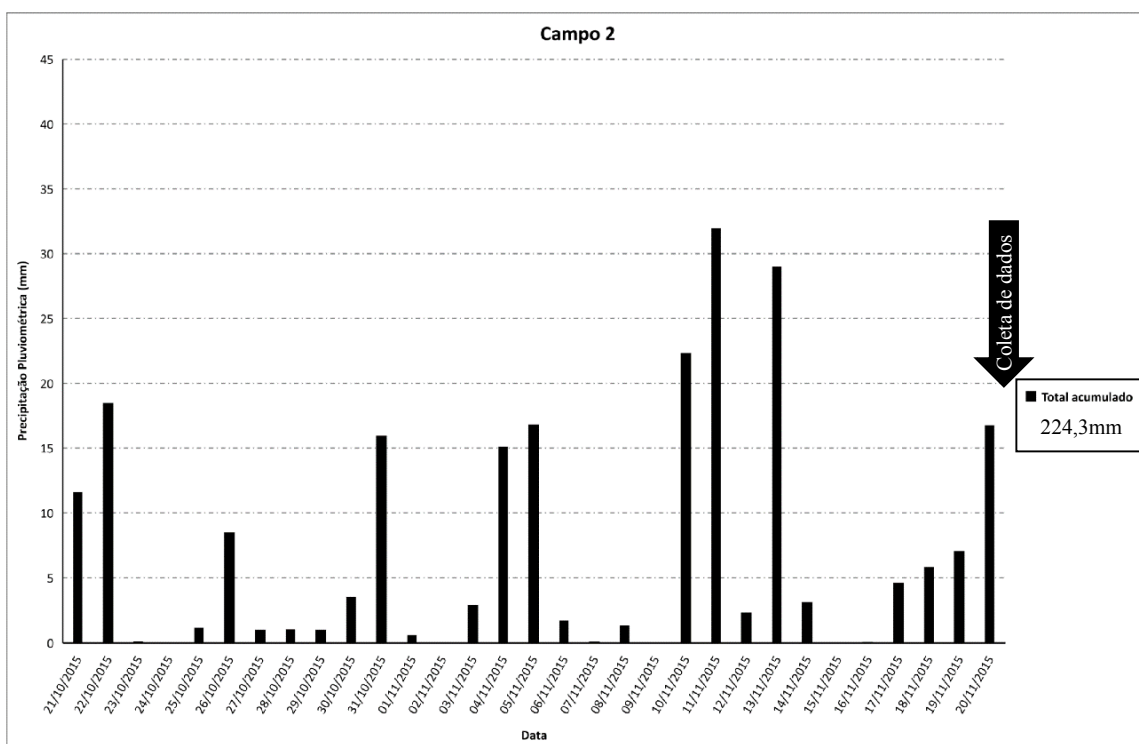


Figura 26 - Índices pluviométricos observados em 30 dias anteriores à realização dos trabalhos do campo 3 (11/01/2018).

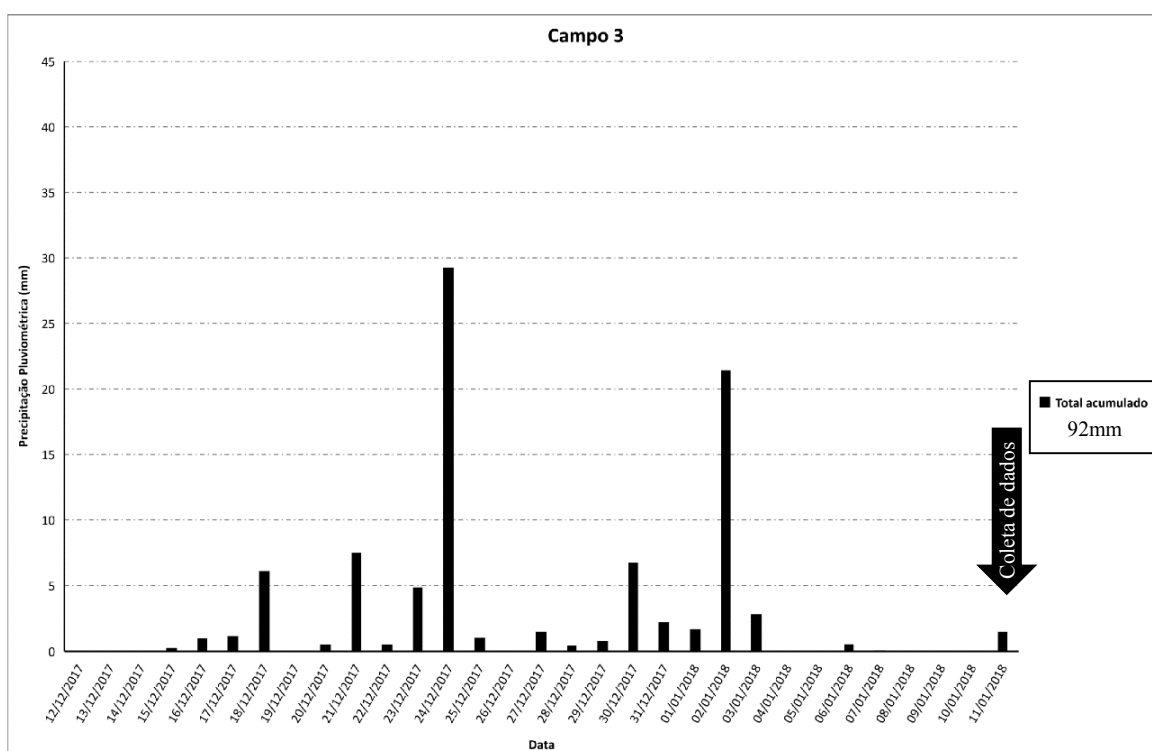
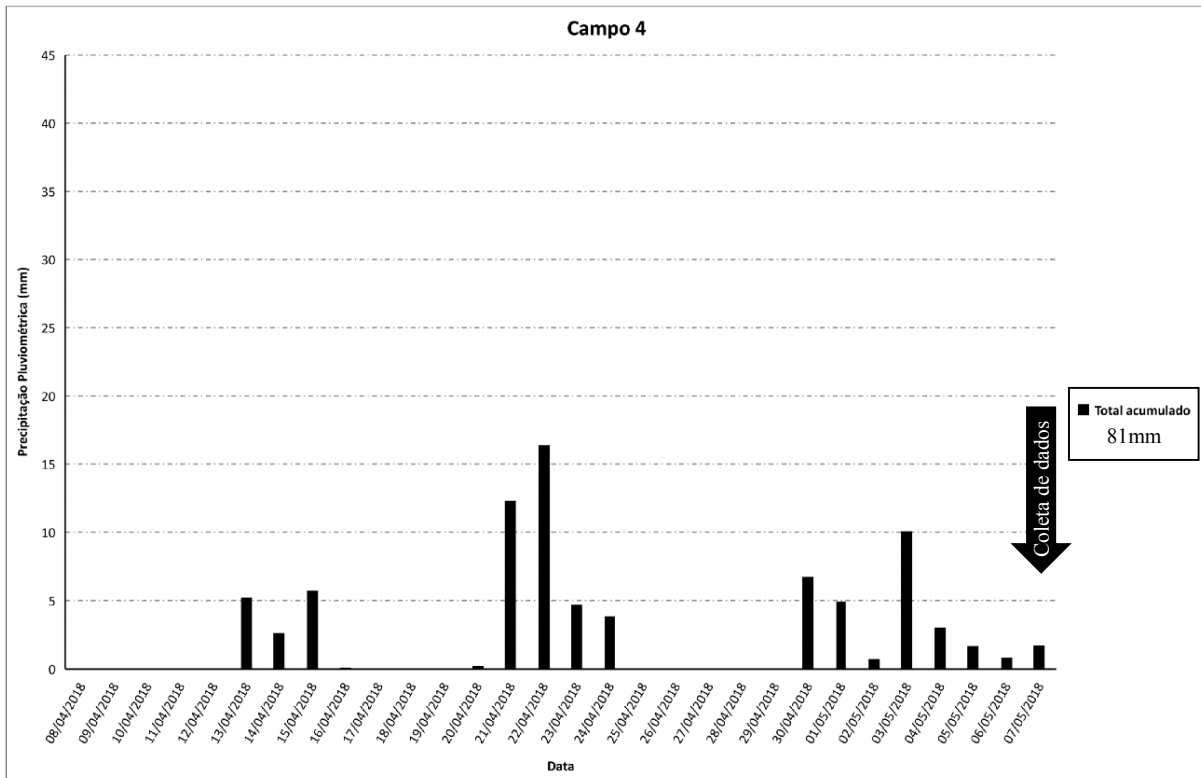


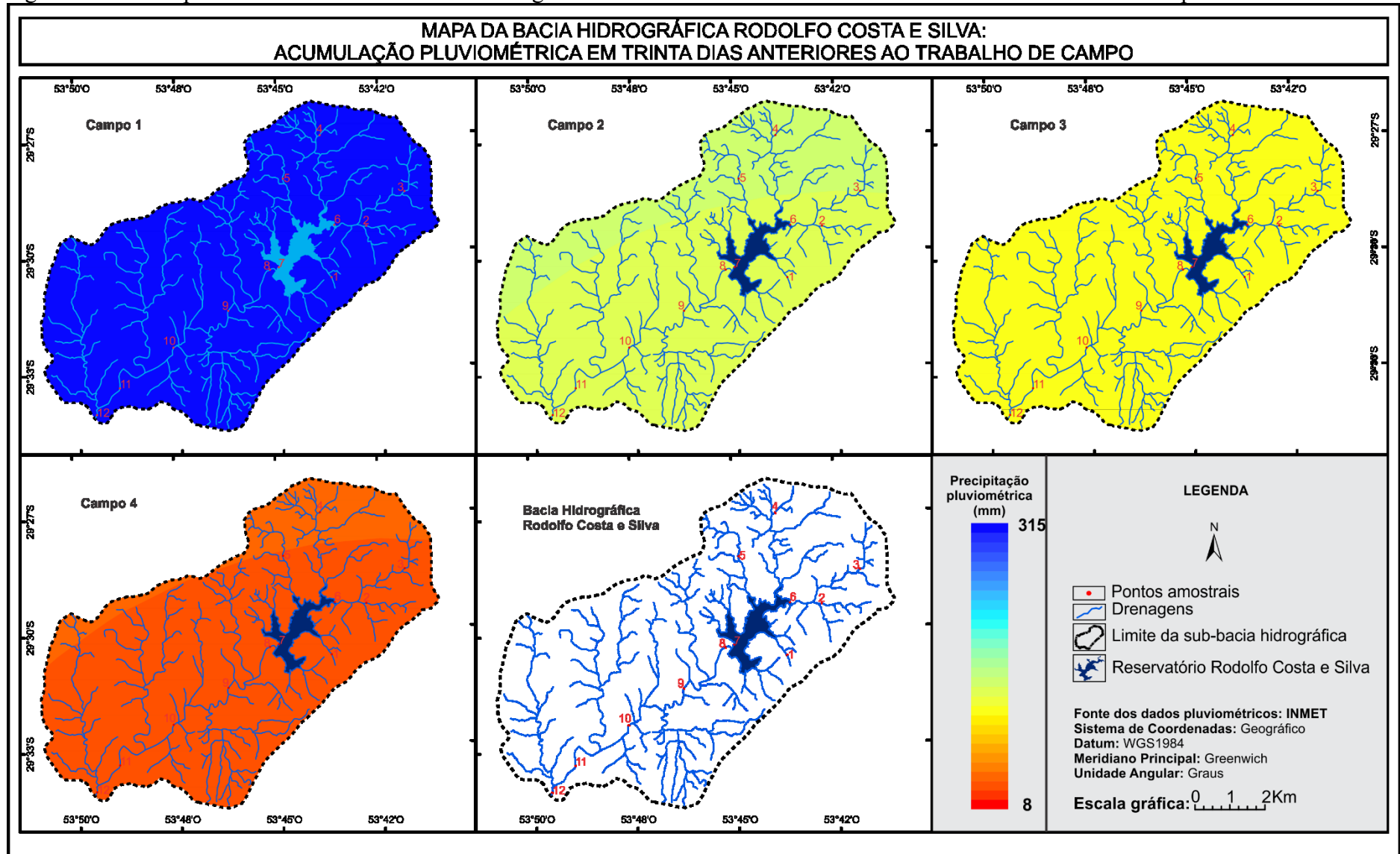
Figura 27 - Índices pluviométricos observados em 30 dias anteriores à realização dos trabalhos do campo 4 (07/05/2018).



A interpolação dos dados pluviométricos (Figura 28) mostra certa irregularidade no volume de chuvas acumulada na área em análise. Nos períodos dos campos 1 e 2 as chuvas tiveram uma intensidade diferente na área de captação da bacia hidrográfica em relação aos campos 3 e 4. Apesar da diferença não ter grandes proporções, as duas etapas apresentaram comportamento bastante considerável quando está se analisando dados limnológicos obtidos em drenagens que tem relação direta com os materiais carreados pela precipitação na superfície terrestre. Em trabalho semelhante, Wacholz (2011) aponta que a irregularidade das chuvas nas bacias hidrográficas durante o período de análise pode determinar particularidades limnológicas aos compartimentos aquáticos do reservatório.

A análise dos dados limnológicos está relacionada com diversos outros fatores entre eles a precipitação, fato que concorda com Ford (1990) e Thornton (1990) quando estes relacionam o aumento de sedimentos suspensos e outras matérias particuladas aos eventos de chuva e consequente elevação do fluxo de água no reservatório. Essas informações fornecem subsídios para a interpretação dos dados limnológicos visto que as precipitações pluviométricas influenciam nas características da água de forma tão mais intensa quanto maior for a quantidade de chuva.

Figura 28 - Volume pluviométrico acumulado na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva em trinta dias anteriores aos trabalhos de campo.



### 4.3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS

Na análise das variáveis limnológicas estabelecidas para este trabalho de pesquisa foram consideradas a temperatura do ar, a temperatura da água, a condutividade elétrica, os totais de sólidos dissolvidos, o potencial hidrogeniônico, a turbidez, os totais de sólidos em suspensão e o potássio. Os dados foram especializados e interpolados conforme os pontos de coletas dos dados de campo, conforme podemos observar a seguir.

#### 4.3.1 Temperatura do Ar

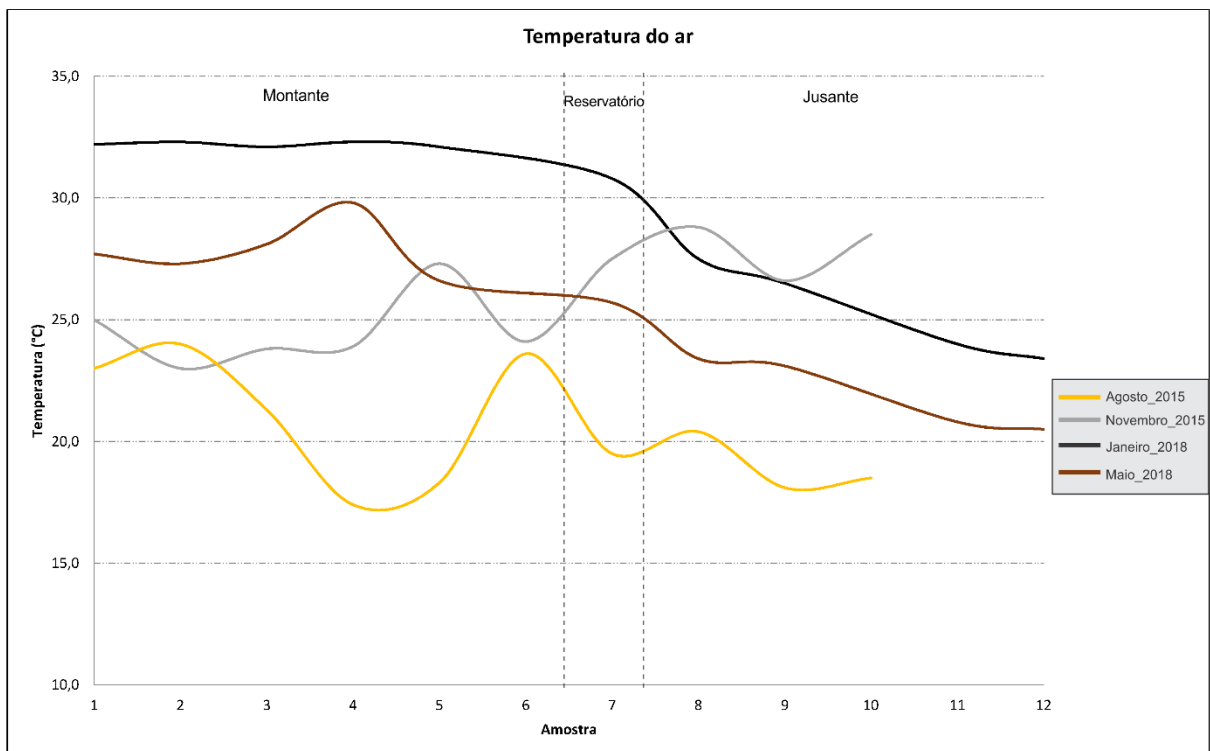
Para estudos que envolvem ambientes aquáticos e terrestres é de fundamental importância a análise da temperatura do ar, pois ela é variável, no tempo e no espaço, e esta alteração diária também ocorre ao longo do ano com certa normalidade devido o regime climático. Semelhante a estudos realizados por Alberti (2016), este dado climático pode sofrer alterações por vários fatores como pela radiação solar, altitude, latitude, massas de ar, pelo aquecimento diferencial da terra e da água, pelas correntes oceânicas. Outros fatores climáticos locais influenciam no balanço da temperatura diária do ar, como: latitude, hora do dia e dia do ano, cobertura de nuvens e a natureza da superfície terrestre.

Na Figura 29 apresenta-se o gráfico com comportamento da variável temperatura do ar nos pontos amostrais para os quatro campos. Nos pontos amostrais que compreendem a sessão montante do reservatório (pontos de 1 a 6) foram encontradas as maiores médias de temperatura, indicando bastante instabilidade no comportamento dessa variável limnológica, quando comparado principalmente com os dados obtidos nos pontos coletados na sessão jusante do reservatório. Na sessão montante do reservatório podemos observar que ocorreram episódios que registraram valor em torno de 17°C até valores próximos a 33°C, enquanto que na sessão jusante os dados apresentaram comportamento com mais estabilidade, se comprado com os dados da sessão montante, definindo menor amplitude térmica.

Outra situação a ser destacada na sessão montante da área estudada é que no ponto 4 ocorreram picos mínimos na primavera e picos elevados no comportamento da temperatura durante o outono, mas no verão a temperatura manteve-se elevada na maior parte os pontos amostrais, contribuindo assim, para maior amplitude dos dados nessa sessão. Este fato pode estar relacionado com a situação de que na sessão a montante do reservatório há maior intensidade de práticas agrícolas, no entanto, em períodos de entressafras, o solo está mais exposto e favorece o aumento da temperatura do ar.

Na sessão jusante do reservatório há presença da reserva biológica do Ibicui-Mirim, situação esta que devido a preservação da flora do ambiente terrestre, favorece a estabilidade da temperatura, evitando oscilações muito acentuadas durante a incidência máxima de radiação solar ao longo do dia.

Figura 29 – Comportamento da variável temperatura do ar nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

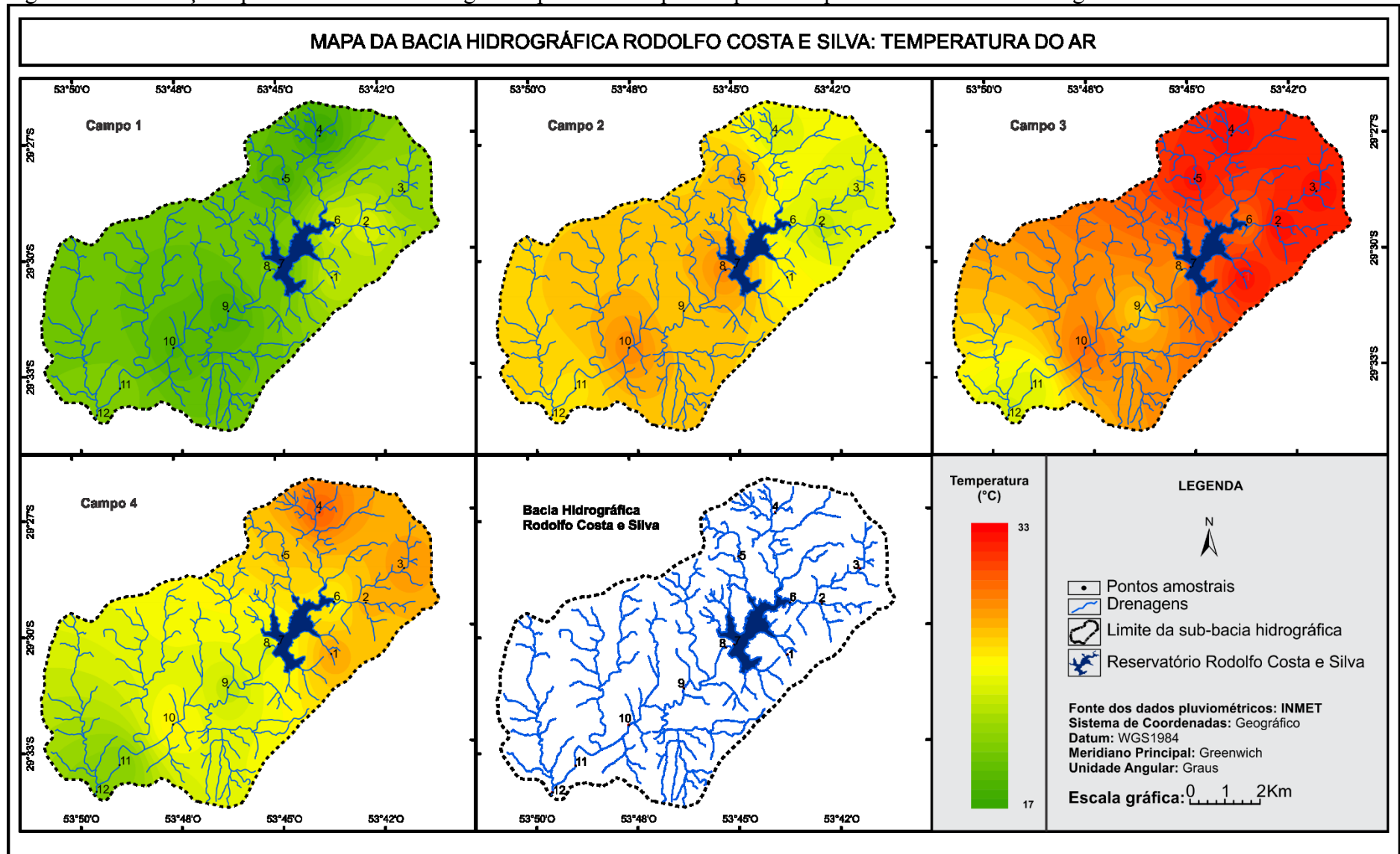


Também na análise dos ambientes aquático e terrestre desta pesquisa, podemos observar a interpolação da variável limnológica temperatura (Figura 30) para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Com o registro nos pontos amostrais foi possível perceber que a temperatura média do ar nos campos 2 e 4, durante a primavera e outono, respectivamente, apresentou-se mais estável, enquanto que os registros de temperatura observados campo 3 (11/01/2018) apresentaram-se mais elevados, devido à proximidade do verão, com destaque para a sessão a montante do reservatório, os quais chegaram a níveis extremos se comparado com os demais dados dos outros campos realizados nesta pesquisa. Enquanto que no campo 1 (07/08/2015), realizado durante o período de inverno, as temperaturas apresentaram comportamento mais estável e dentro do padrão esperado, ou seja, tem como característica principal temperaturas mais baixas por causa da estação do ano, semelhante a estudo

realizado por Breunig et. al (2011), em que identificou claramente a relação das oscilações de temperaturas com os ambientes aquáticos realizados no reservatório Rodolfo Costa e Silva.

Portanto, para a variável temperatura do ar, a existência de um ambiente lótico interseccionado por ambiente lêntico não modificou o comportamento dos dados, pois a partir da sessão jusante, após o ambiente lêntico, os dados apresentaram mais estabilidade no ambiente terrestre, dando a entender que ao construir uma barreira artificial para retenção de água em reservatórios não há interferência no comportamento desta variável limnológica, mas sim o fato de existir um ambiente de preservação natural da flora, o qual contribuiu para maior estabilidade da temperatura do ar. O ambiente de preservação de mata nativa é encontrado somente na sessão a jusante do ambiente lêntico, enquanto que o ambiente no entorno da sessão lótica a montante encontra-se bastante modificado pelo uso intenso de práticas agrícolas.

Figura 30 – Distribuição espacial da variável limnológica temperatura do ar para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



### 4.3.2 Temperatura da Água

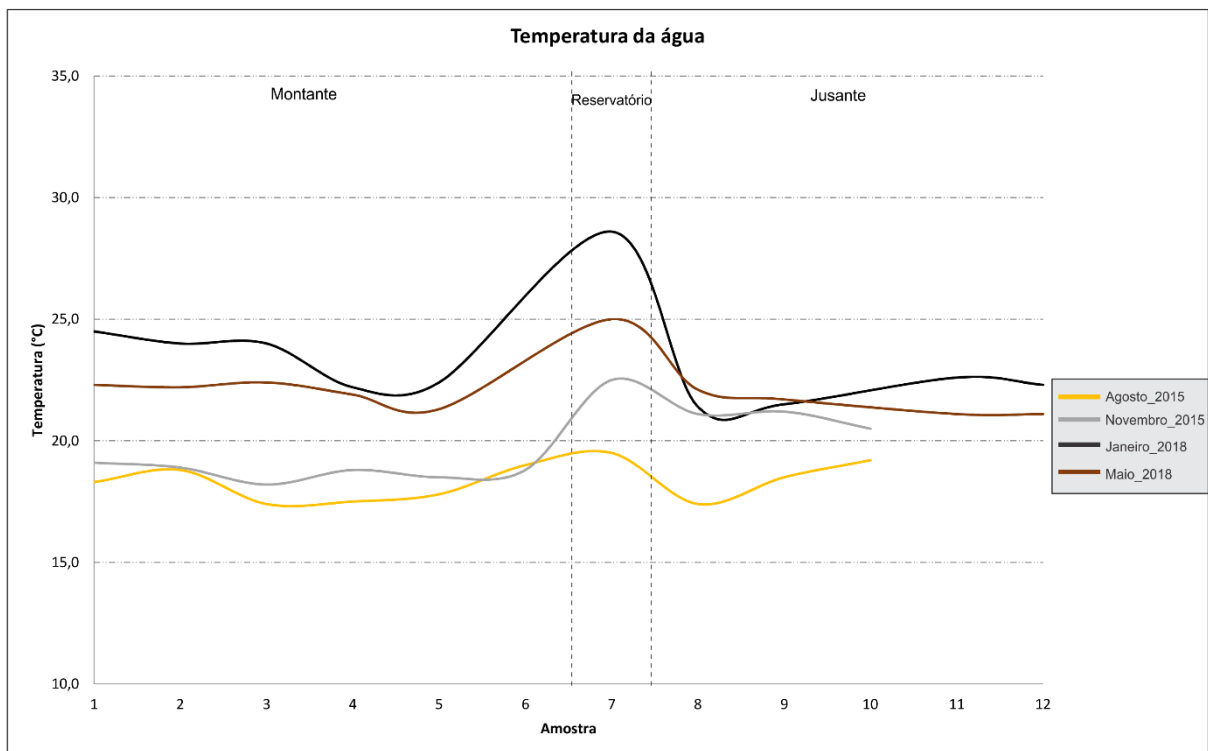
A coleta de dados limnológicos ocorreu basicamente entre duas etapas (quatro coletas de campo), sendo duas coletas no ano de 2015, contemplando uma coleta no inverno e outra na primavera e as outras duas no ano de 2018, contemplando o verão e o outono, respectivamente. Com a periodicidade e considerando as quatro estações anuais que ocorrem nessa região foi possível entender a dinâmica aquática das drenagens que abastecem a bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Este trabalho esteve estritamente relacionado à sazonalidade, ao regime de chuvas e ao uso/ocupação da terra na região hídrica de desenvolvimento da pesquisa.

Na Figura 31 podemos observar o gráfico com o comportamento da temperatura da água das drenagens da área de captação para os quatro campos. Também, ainda em relação as informações sobre a temperatura foi possível verificar o seu comportamento por meio da interpolação desta variável limnológica (Figura 32). Com o registro dos dados que foram obtidos nos pontos amostrais podemos perceber que a temperatura média da água nos campos 3 e 4 (janeiro e maio, respectivamente) mantiveram-se mais elevadas, devido à proximidade do verão. Semelhante a estudo realizado por Corazza (2010), em águas do rio Jacuí, com a proximidade do inverno, em agosto e novembro (campos 1 e 2), a água manteve-se com as temperaturas mais baixas. Isso demonstra que a temperatura da água das drenagens acompanhou a temperatura do ar decorrente das características das estações do ano no estado do Rio Grande do Sul.

Em todas as datas analisadas a água apresentou-se mais fria na sessão lótica das drenagens do que a água obtida no reservatório Rodolfo Costa e Silva, fato este relacionado a mudança do ambiente lótico para o ambiente lêntico, ao qual proporciona maior absorção da radiação solar elevando as temperaturas superficiais da água. Logo após o ambiente lêntico, considerando o sentido do fluxo de água nas drenagens, observou-se uma queda mais acentuada na temperatura, motivo este associado ao fato de que as águas liberadas no dique do reservatório saírem da porção mais profunda da água, então com menores temperaturas. No entanto, logo na sequência da drenagem a jusante do reservatório, observa-se uma certa tendência de estabilidade na temperatura. Isto também pode estar relacionado ao fato de que a região a jusante do reservatório pertence à reserva biológica Ibicui-Mirim, local onde há maior preservação da vegetação nativa nas proximidades das drenagens.



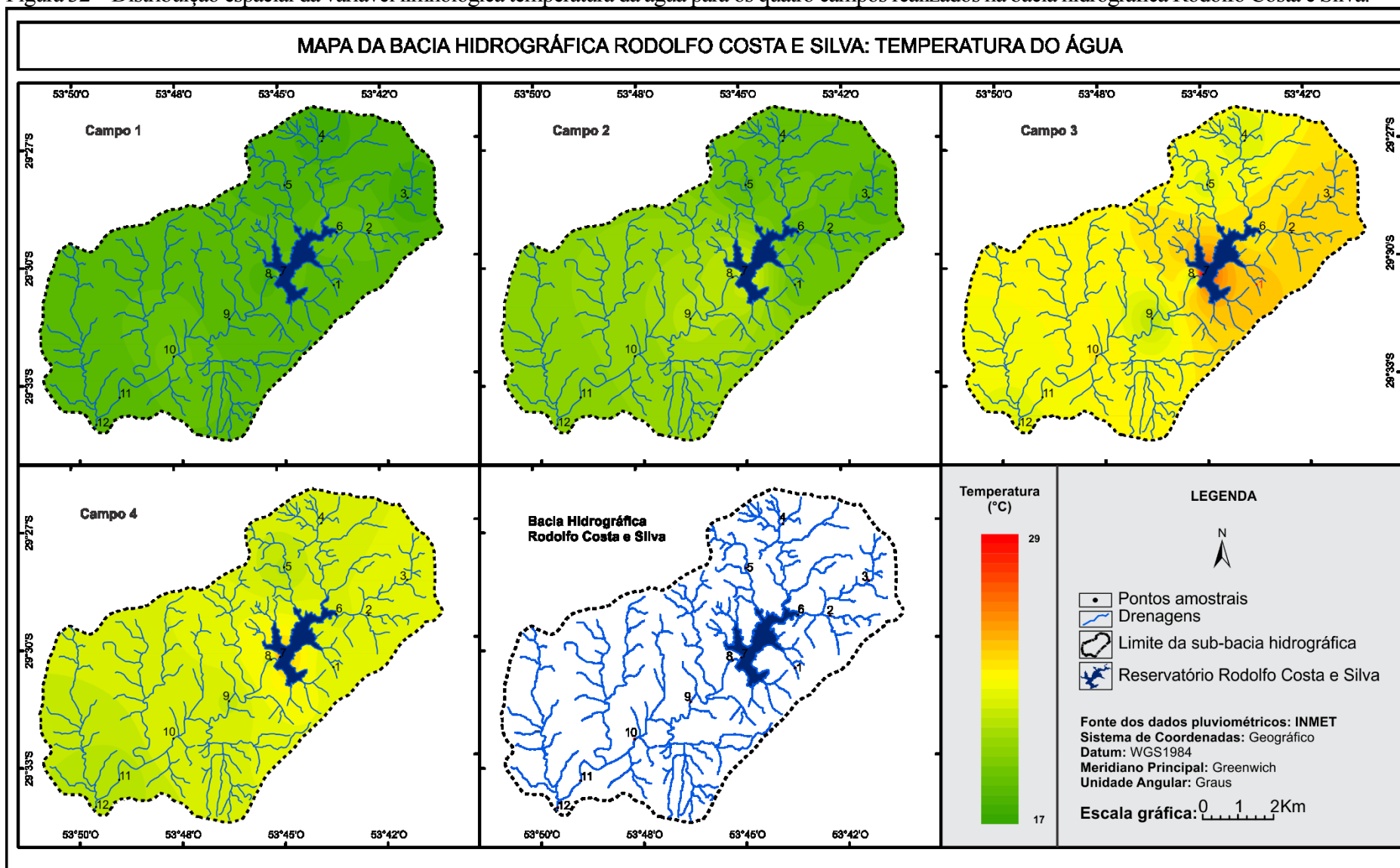
Figura 31 – Comportamento da variável limnológica temperatura da água nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



De acordo com Araújo et al. (2007), a temperatura tem um efeito direto sobre a taxa ou cinética das reações químicas, nas estruturas proteicas e funções enzimáticas dos organismos, portanto as atividades biológicas dos organismos aquáticos sofrem constantes alterações decorridas das frequentes modificações comportamentais do meio, como quando da elevação da temperatura, que no caso os obriga a um consumo maior de oxigênio, já reduzido em sua concentração na água, pelo próprio processo físico.

Em geral, na análise da temperatura da água observou-se que a presença de ambiente lântico interseccionado com ambientes lóticos, modificou a temperatura da água somente nas proximidades do reservatório. Aumentou a temperatura a água quando esteve no ambiente lântico e diminuiu a temperatura ao ingressar novamente no ambiente lótico com tendência ao equilíbrio entre as temperaturas em todos os campos analisados, independente da estação do ano.

Figura 32 – Distribuição espacial da variável limnológica temperatura da água para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

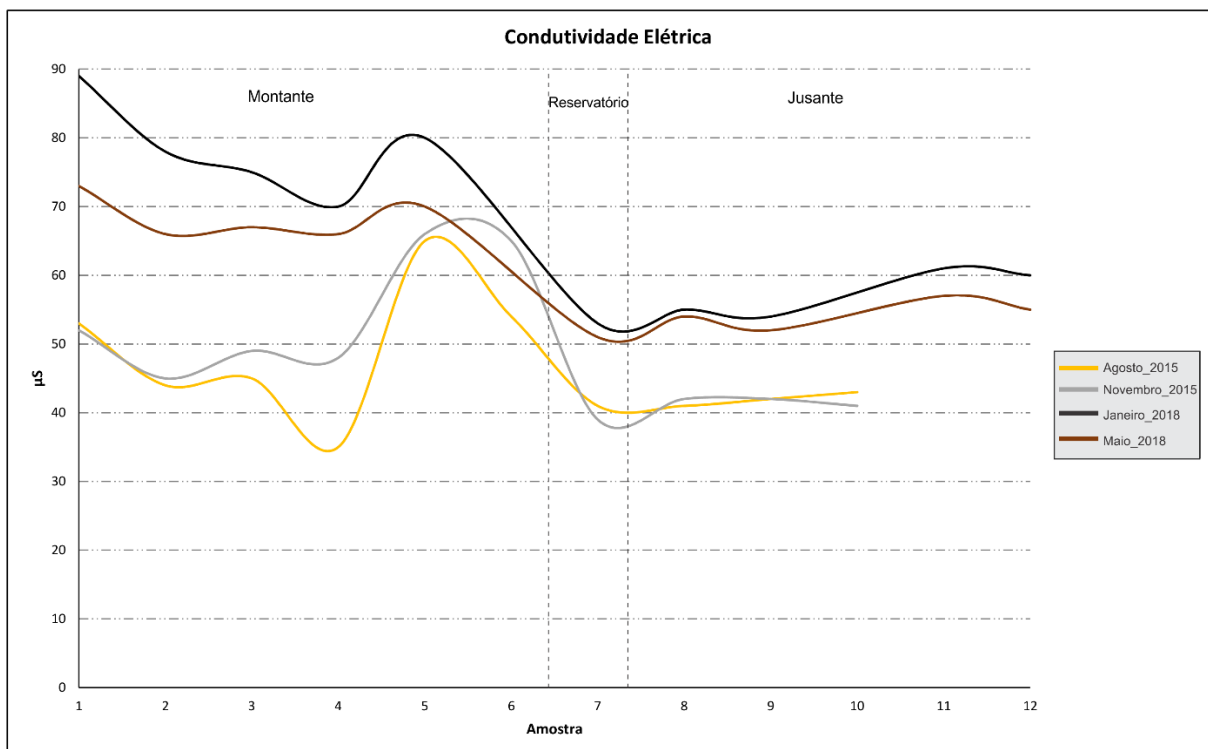


### 4.3.3 Condutividade Elétrica

As alterações dos valores de condutividade elétrica podem estar relacionados a atividade antrópica nas proximidades do ponto de coleta, ou seja, transferência de materiais particulados entre o sistema terrestre e o aquático, neste caso, principalmente o intenso uso de práticas agrícolas realizadas na região carreados para dentro das drenagens.

Na Figura 33 é apresentado o gráfico com o comportamento da variável limnológica condutividade elétrica identificada nas amostras de água das drenagens da área de captação para os quatro campos. Na sessão montante do reservatório Rodolfo Costa e Silva houve maior amplitude nos dados. Com a ocorrência de picos máximos e mínimos no comportamento da condutividade elétrica, em torno de  $35\mu\text{S}$  no ponto 4 durante o inverno e ultrapassando os  $90\mu\text{S}$ , no ponto 1, durante o verão. Enquanto que na sessão jusante do reservatório, observou-se uma tendência à estabilidade dos dados de condutividade elétrica para todos os campos, com valores variando entre 40 e  $60\mu\text{S}$ , o qual pode estar relacionado ao fato de que a região a jusante do reservatório pertence à reserva biológica Ibicui-Mirim, local onde há maior preservação da vegetação nativa nas proximidades das drenagens.

Figura 33 – Comportamento da variável limnológica condutividade elétrica nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



Também na análise da água, podemos observar a interpolação da variável limnológica condutividade elétrica (Figura 34) obtida com o registro nos pontos amostrais foi possível perceber que esta variável limnológica apresentou médias mais elevadas nos campos 3 e 4 (janeiro e maio, respectivamente), assemelhando-se aos dados pluviosidade e também devido à proximidade do verão, semelhante a estudo realizado por Alberti (2016), o qual afirma que esta variável também sofre influência conforme o regime pluviométrico no período antecedente próximo as coletas dos dados a serem analisados.

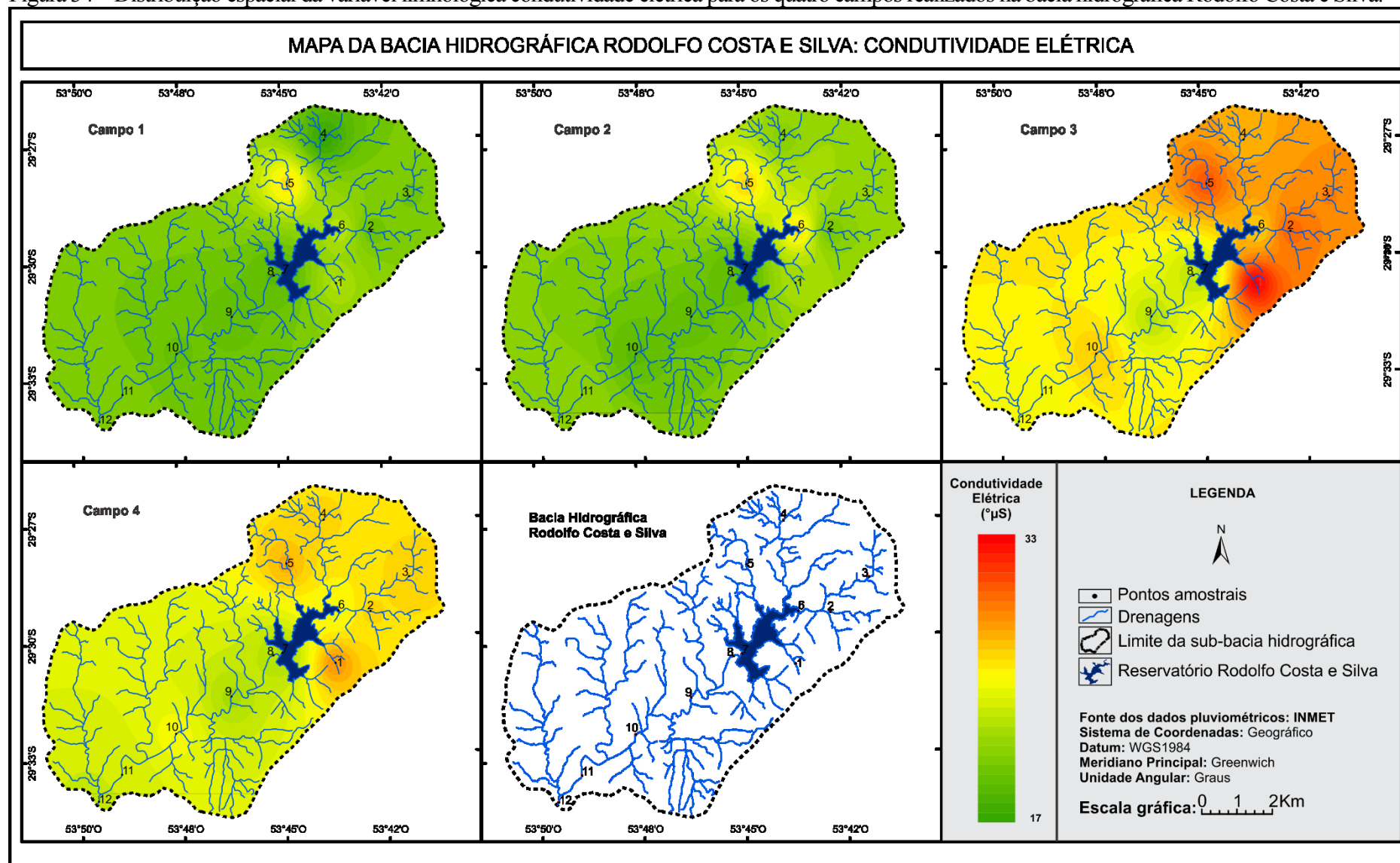
Os campos 3 e 4, foram os que apresentaram maiores valores da variável limnológica condutividade elétrica, os quais estão relacionados ao verão e outono, respectivamente. Esta situação corrobora com Pádua (2018), o qual afirma que também, em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto que a condutividade e a pressão de vapor aumentam a solubilidade com a elevação da temperatura.

O aumento significativo de condutividade elétrica foi mais destacado na sessão montante do reservatório, durante o campo 3 (11/01/2018), ainda com mais intensidade nos pontos 1 e 5, coincidindo com as áreas de atividades agrícolas mais intensas, onde há maior carregamento de sedimentos do ambiente terrestre para o ambiente aquático. Esta situação assemelha-se a estudos realizados por Breunig Et. al (2011), em que afirma a hipótese do aumento da condutividade elétrica estar associado à maior presença de matéria orgânica carregado por material trazido do ambiente terrestre ou ainda pela presença de troncos submersos e plantas aquáticas. As variações de temperatura da água também induzem mudanças na condutividade elétrica da água. Contudo, outros fatores também devem ser considerados na análise da condutividade elétrica da água, como a quantidade de matéria orgânica dissolvida.

Nos campos 1 e 2, coletas relacionadas aos períodos de inverno e primavera, houve uma maior tendência a estabilidade nos dados, seguindo mais ou menos um certo padrão em quase toda a bacia hidrográfica analisada, ainda com uma leve tendência de aumento nas proximidades do ponto 5.

Então, para variável limnológica condutividade elétrica, a existência de um ambiente lótico interseccionado por ambiente lêntico modificou o comportamento dos dados, pois a partir da sessão jusante, após o ambiente lêntico, considerando como início do sentido hídrico a região das nascentes, os dados apresentaram mais estabilidade no ambiente aquático, dando a entender que ao construir uma barreira artificial para retenção de água em reservatórios contribuiu na alteração do comportamento desta variável limnológica. Neste caso, o reservatório tem um efeito positivo, pois reduz a condutividade elétrica.

Figura 34 – Distribuição espacial da variável limnológica condutividade elétrica para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



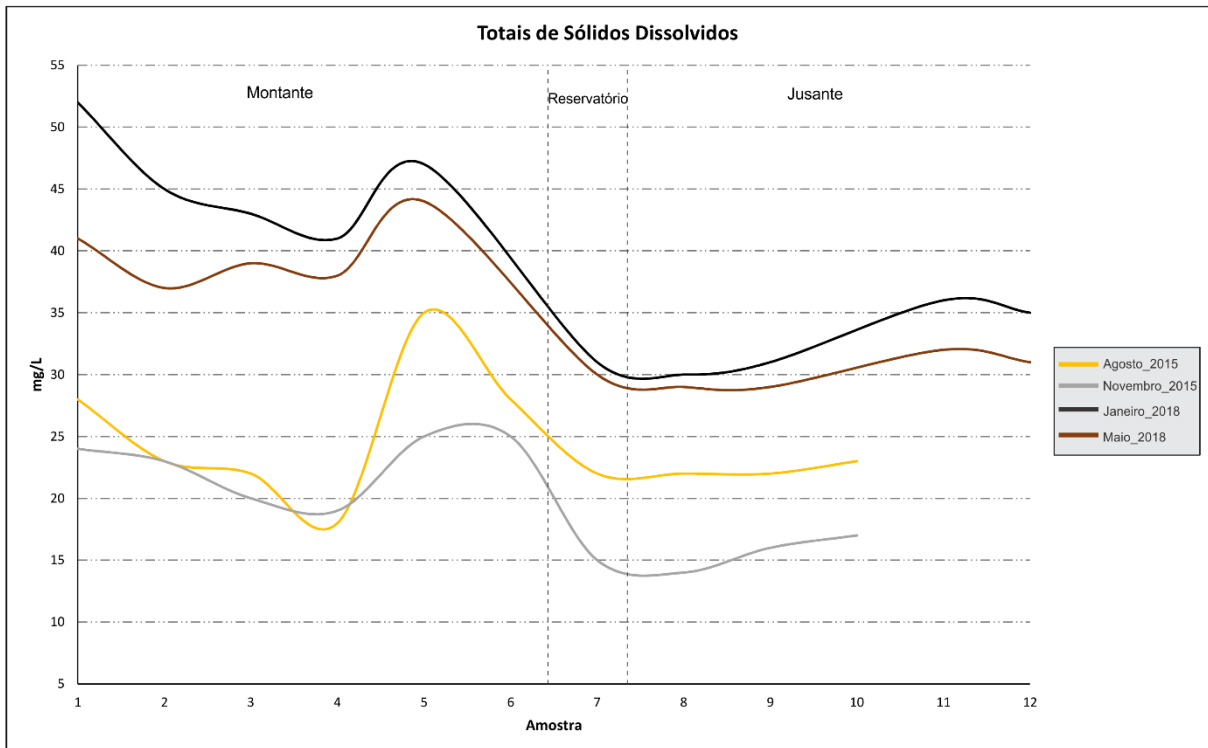
#### 4.3.4 Totais de Sólidos Dissolvidos

A presença de sólidos dissolvidos foi observada em todos os dados analisados nas amostras coletadas nas drenagens da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, ocorrendo apenas variações de acordo com as particularidades de cada porção da área e a época do ano. A Figura 35 mostra o comportamento da variável limnológica totais de sólidos dissolvidos nos pontos amostrais para os quatro campos. Nos pontos amostrais que compreendem a sessão montante do reservatório (pontos de 1 a 6) foram encontradas as maiores médias de totais de sólidos dissolvidos, indicando uma relação instável dessa variável limnológica em relação aos demais dados obtidos nos outros pontos de coletas.

Na sessão montante da área estudada ocorreram picos máximos, principalmente nos pontos 1 e 4 e mínimos, no ponto 4, em relação ao comportamento dos sólidos dissolvidos, os quais variaram em torno de  $13\text{mg.L}^{-1}$  no ponto 4 durante o inverno e ultrapassando os  $52\text{mg.L}^{-1}$ , no ponto 1, durante o verão. Enquanto que na sessão jusante do reservatório, observou-se uma tendência à estabilidade dos dados de condutividade elétrica para todos os campos, com valores variando entre  $15$  e  $35\text{mg.L}^{-1}$ , o qual pode estar relacionado ao fato de que a região a jusante do reservatório pertence à reserva biológica Ibicui-Mirim, local onde há maior preservação da vegetação nativa nas proximidades das drenagens.

Essas diferenças entre os dados estudados podem estar vinculadas a forma de utilização do espaço no entorno das drenagens diferenciado em cada período do ano, principalmente relacionado ao uso do solo mais intenso pela agricultura ou então maior preservação do ambiente terrestre, como é o caso de reservas ambientais. Mesmo que os dois primeiros campos tenham uma certa semelhança e os dois últimos também, entre si, todos eles apresentaram uma tendência de queda nos valores dos totais de sólidos dissolvidos após passar pelo ambiente lântico, considerando o fluxo natural da água, e ao ingressar novamente no ambiente lótico, os dados tendem a uma certa estabilidade em relação ao comportamento desta variável limnológica.

Figura 35 – Comportamento da variável limnológica totais de sólidos dissolvidos nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



Ainda, em análise da água desta pesquisa, podemos observar a interpolação da variável limnológica totais de sólidos dissolvidos (Figura 36) obtida com o registro nos pontos amostrais foi possível perceber que esta variável limnológica apresentou médias mais elevadas nos campos 3 e 4 (janeiro e maio, respectivamente), assemelhando-se aos dados de condutividade elétrica e de TSS e também devido à proximidade do verão.

Os campos 3 e 4, foram os que apresentaram maior intensidade da variável limnológica totais de sólidos dissolvidos, os quais estão relacionados ao verão e outono, respectivamente. O aumento significativo dos totais de sólidos dissolvidos foi mais destacado na sessão montante do reservatório, durante o campo 3 (11/01/2018), ainda com mais intensidade nos pontos 1 e 5, coincidindo com os dados de condutividade elétrica e com as áreas de atividades agrícolas mais intensas, região onde há maior carreamento de sedimentos do ambiente terrestre para o ambiente aquático. Esta situação assemelha-se a estudos realizados por Breunig Et. al (2011), em que afirma a hipótese do aumento da condutividade elétrica estar associado à maior presença de matéria orgânica carreado por material trazido do ambiente terrestre ou ainda pela presença de troncos submersos e plantas aquáticas.

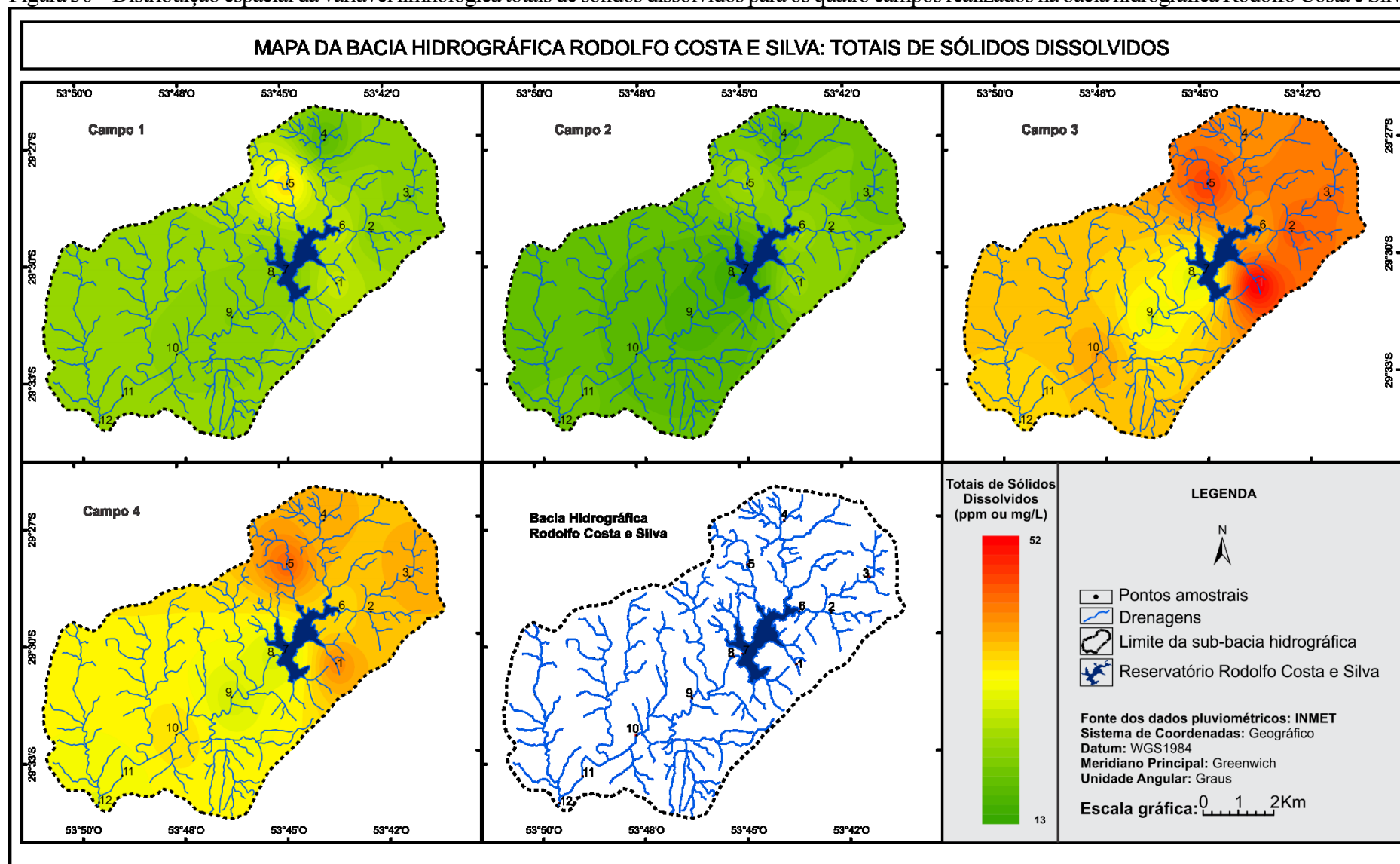
Com relação aos dados obtidos nos campos 1 e 2, coletas referentes aos períodos de inverno e primavera, houve uma maior tendência a homogeneidade nos dados, seguindo mais

ou menos um certo padrão em quase toda a bacia hidrográfica analisada, ainda com uma leve tendência de aumento nas proximidades do ponto 5.

Sendo assim, para variável limnológica totais de sólidos dissolvidos, a existência de um ambiente lótico interseccionado por ambiente lêntico modificou o comportamento dos dados, pois a partir da sessão jusante, após o ambiente lêntico, considerando como início do sentido hídrico a região das nascentes, os dados apresentaram mais estabilidade no ambiente aquático, dando a entender que ao construir uma barreira artificial para retenção de água em reservatórios contribuiu na alteração do comportamento desta variável limnológica. Considerando também as diferenças na paisagem da sessão a jusante do reservatório, a qual pertence à reserva biológica Ibicui-Mirim, local onde há maior preservação da vegetação nativa principalmente nas proximidades das drenagens, pois influenciam diretamente na quantidade de sólidos dissolvidos que são carregados para o sistema hídrico local.



Figura 36 – Distribuição espacial da variável limnológica totais de sólidos dissolvidos para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



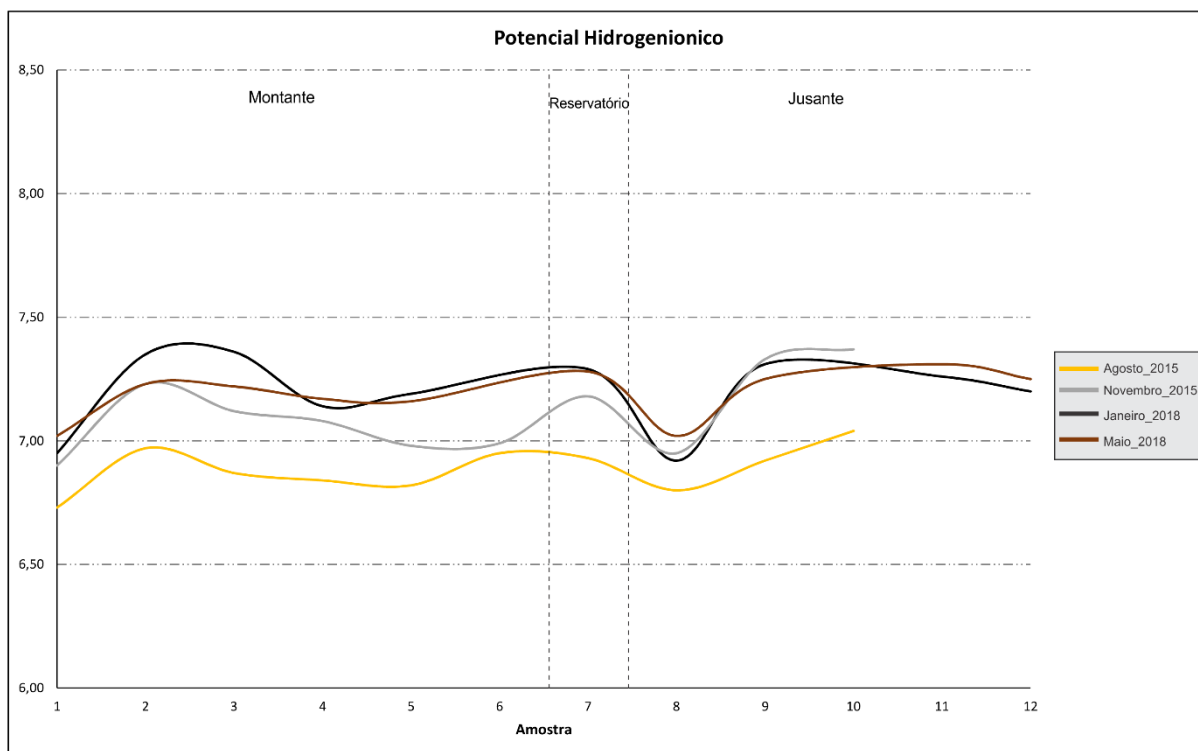
#### 4.3.5 Potencial Hidrogeniônico

Quanto ao comportamento da variável limnológica do pH, valores elevados ou mais baixos influenciam significativamente na composição de várias substâncias, assim como, a disponibilidade de muitas substâncias advindas de nutrientes variam com a concentração de íon hidrogênio. Estudos realizados por Alberti (2016) afirmam que a água com pH baixo (ácida) possui baixa produtividade por ser deficiente em nutrientes e quando o contrário acontece, os valores elevados de pH tendem a ser letais para peixes e a toda vida aquática. A faixa de pH permissível depende de uma série de outros fatores tais como temperatura, oxigênio dissolvido, aclimação e o conteúdo de vários cátions e ânions.

Nesse sentido, ao analisar o potencial hidrogeniônico da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, representado na Figura 37, seu comportamento demonstrou-se bastante estável, com pequena tendência de queda no ponto 1, em relação a sessão a montante do reservatório e certa estabilidade nos demais pontos da mesma sessão, com valores oscilando entre 6,7 e 7,4. A água ao passar pelo ambiente lântico, considerando o fluxo natural da água no sentido descendente das drenagens, apresentou uma breve queda nos valores de pH. No entanto, logo na sequência do fluxo da água das drenagens, após sair do ambiente lântico e ingressar novamente no ambiente lótico no ponto 8, a jusante do reservatório, os valores médios do pH apresentaram-se novamente semelhantes em relação ao padrão da maior parte da sessão a montante do reservatório.

Sendo assim, como os valores de pH em todos os pontos, nos quatro campos de coletas amostrais, tiveram comportamento dentro do padrão estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005 que admite variação entre 6,0 a 9,0 para todas as classes de águas doces.

Figura 37 – Comportamento da variável limnológica potencial hidrogeniônico nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

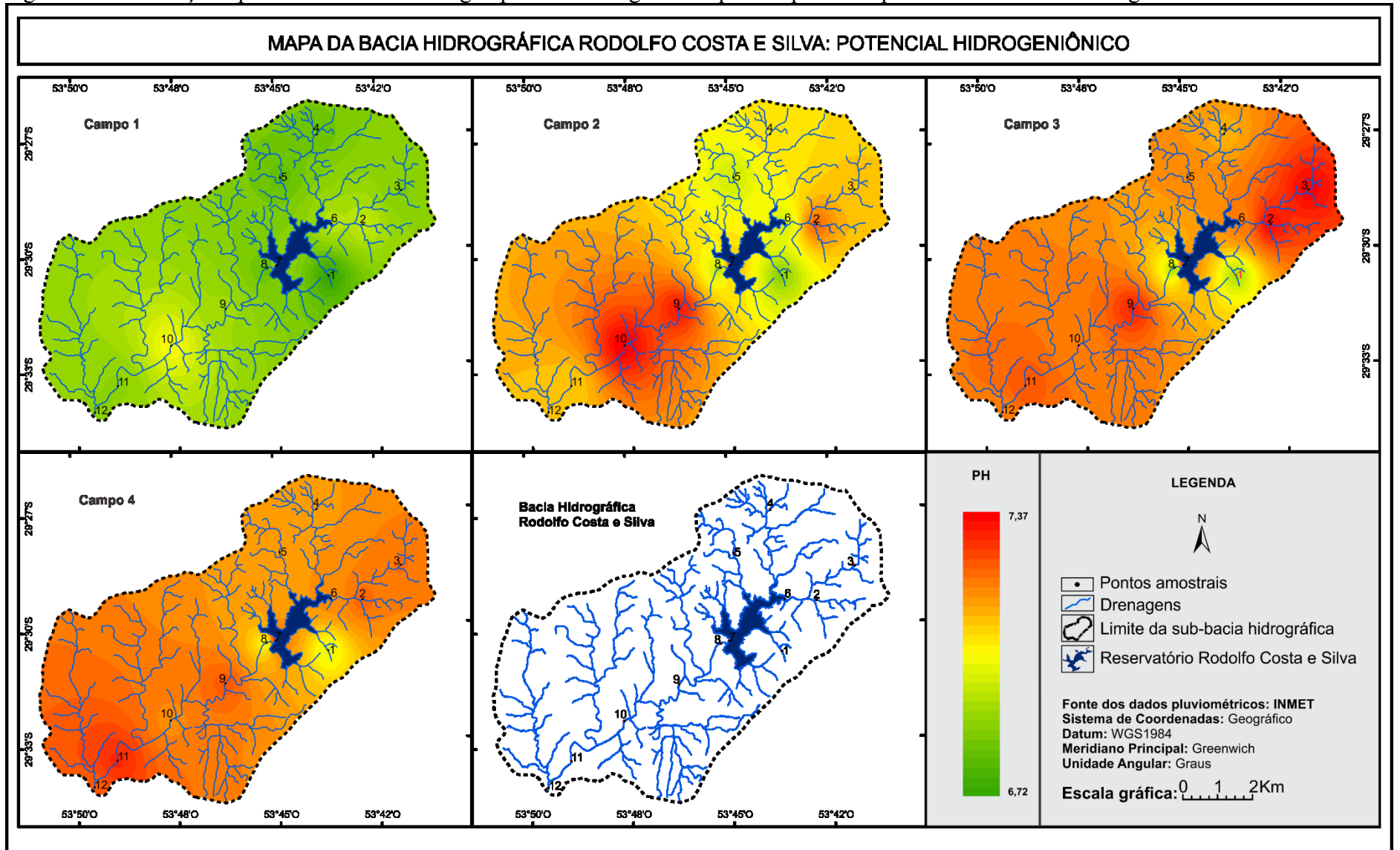


Na Figura 38 são apresentadas as espacializações do comportamento da variável limnológica potencial hidrogeniônico referentes as quatro coletas de dados realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Em relação aos campos 2, 3 e 4 realizados na primavera, verão e outono, respectivamente, nessas três datas de coleta de dados em campo, em média geral os dados apresentaram certo padrão no comportamento do pH. Em geral, os dados coletados nos 3 últimos campos apresentaram-se com certa alcalinidade, ou seja, todos com tendência de pH superior ao padrão neutro 7,0. Enquanto que os dados de pH apresentados no campo 1 (07/08/2015), durante o inverno, demonstraram-se mais alcalinos em todos os pontos de coletas de dados, assemelhando-se a estudos realizados por Breunig Et. al (2011), no reservatório Rodolfo Costa e Silva. Uma análise conjunta de toda área em estudo mostra que o pH da água pode ser considerado neutro (ESTEVEZ, 1998).

Em síntese, para a variável limnológica potencial hidrogeniônico, a existência de um ambiente lótico interseccionado por ambiente lêntico modificou apenas localmente o comportamento dos dados, pois a partir da sessão jusante, após o ambiente lêntico, considerando como início do sentido hídrico a região das nascentes, os dados

apresentaram nova estabilidade no ambiente aquático, dando a entender que ao construir uma barreira artificial para retenção de água em reservatórios não há interferência no comportamento desta variável limnológica, se considerarmos todo o fluxo de água de uma rede de drenagem.

Figura 38 – Distribuição espacial da variável limnológica potencial hidrogeniônico para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



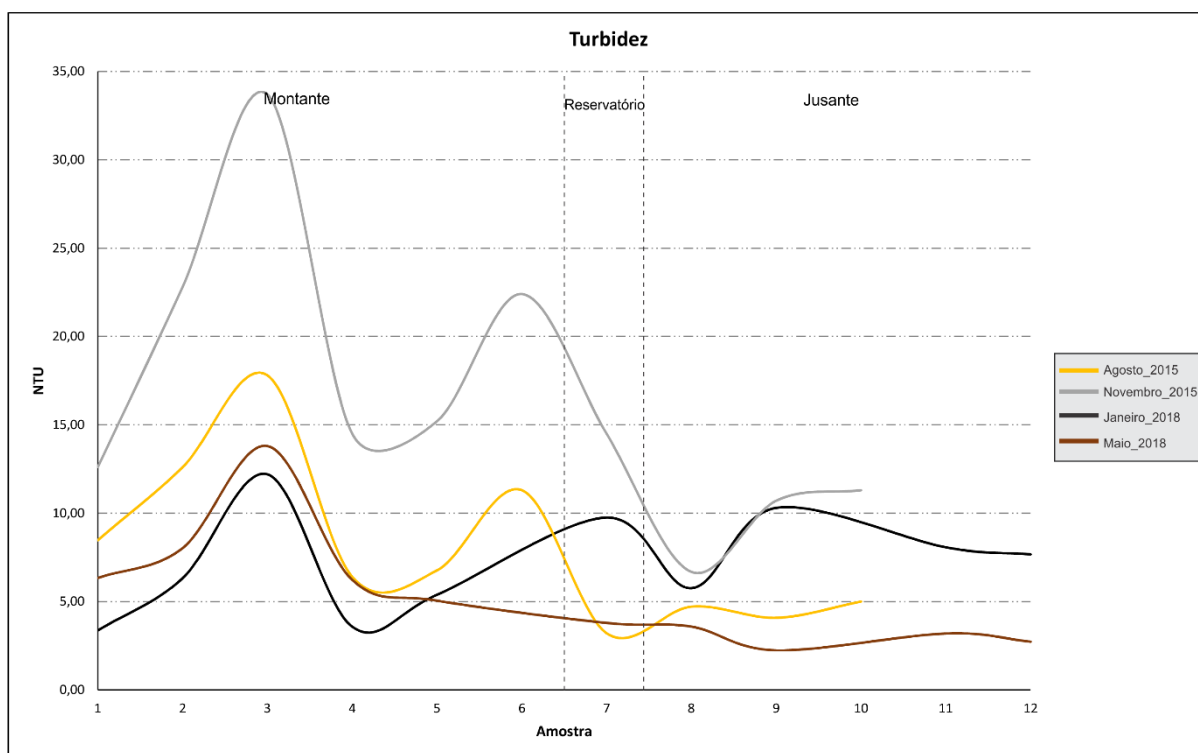
#### 4.3.6 Turbidez

Em relação a variável limnológica turbidez foi observado que todos os dados analisados nas amostras coletadas nas drenagens da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, ocorreram apenas variações de acordo com as particularidades de cada porção da área e a época do ano. A Figura 39 mostra o comportamento da variável limnológica turbidez nos pontos amostrais para os quatro campos. Nos pontos amostrais que compreendem a sessão montante do reservatório (pontos de 1 a 6) foram encontradas as maiores médias de turbidez, indicando bastante instabilidade no comportamento dessa variável limnológica, quando comparado principalmente com os dados obtidos nos pontos coletados na sessão jusante do reservatório. Na sessão montante do reservatório podemos observar que ocorreram episódios que registraram valor menores que 5NTU até valores próximos a 35NTU, enquanto que na sessão jusante os dados apresentaram comportamento com certa estabilidade, se comprado com os dados da sessão montante.

Outra situação a ser destacada na sessão montante da área estudada é que no ponto 3 ocorreram picos máximos no comportamento da turbidez em todos os campos, contribuindo assim, para maior amplitude dos dados nessa sessão. Este fato pode estar relacionado com os períodos de entressafas, momentos de preparo da terra para novos cultivos, tanto na primavera quanto no outono, quando são organizados os cultivos de verão e de inverno. E, tendo em vista que na região das proximidades deste ponto de coleta há uma maior intensidade do uso agrícola, como podemos observar na análise dos mapas de uso da terra realizados neste mesmo trabalho de pesquisa.

Essas diferenças entre os dados estudados podem estar vinculadas a forma de utilização do espaço no entorno das drenagens diferenciado em cada período do ano, principalmente relacionado ao uso da terra na bacia hidrográfica, tendo em vista que na sessão montante do reservatório há maior intensidade de práticas agrícolas, enquanto que na sessão jusante do reservatório há presença da reserva biológica do Ibicui-Mirim. No caso do campo 2 (20/11/2015), realizado na primavera, também pode haver relação com a precipitação ocorrida no local anterior à data de trabalho de campo, fato esse que em função do material particulado e dissolvido pela chuva, pode ser transportado para as drenagens e aumentar a carga de sedimentos para o interior do corpo de água, situação essa, também verificada em estudo realizados por Alberti (2016).

Figura 39 – Comportamento da variável limnológica turbidez nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



Na Figura 40 são apresentadas as espacializações do comportamento da turbidez referentes as quatro coletas de dados realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Em relação aos campos 1, 3 e 4 realizados no inverno, verão e outono, respectivamente, nessas três datas de coleta de dados em campo, numa média geral apresentaram certo padrão no comportamento da turbidez. De acordo com estudos realizados por Sartor (2008), isto pode estar relacionado diretamente à precipitação acumulada aos períodos anteriores a cada coleta dos dados de campo, visto que a precipitação pluviométrica tende a ser inversamente proporcional ao comportamento da turbidez, conforme a oscilação do carreamento de sedimentos das bacias de captação para dentro do reservatório, modificando a média geral da turbidez.

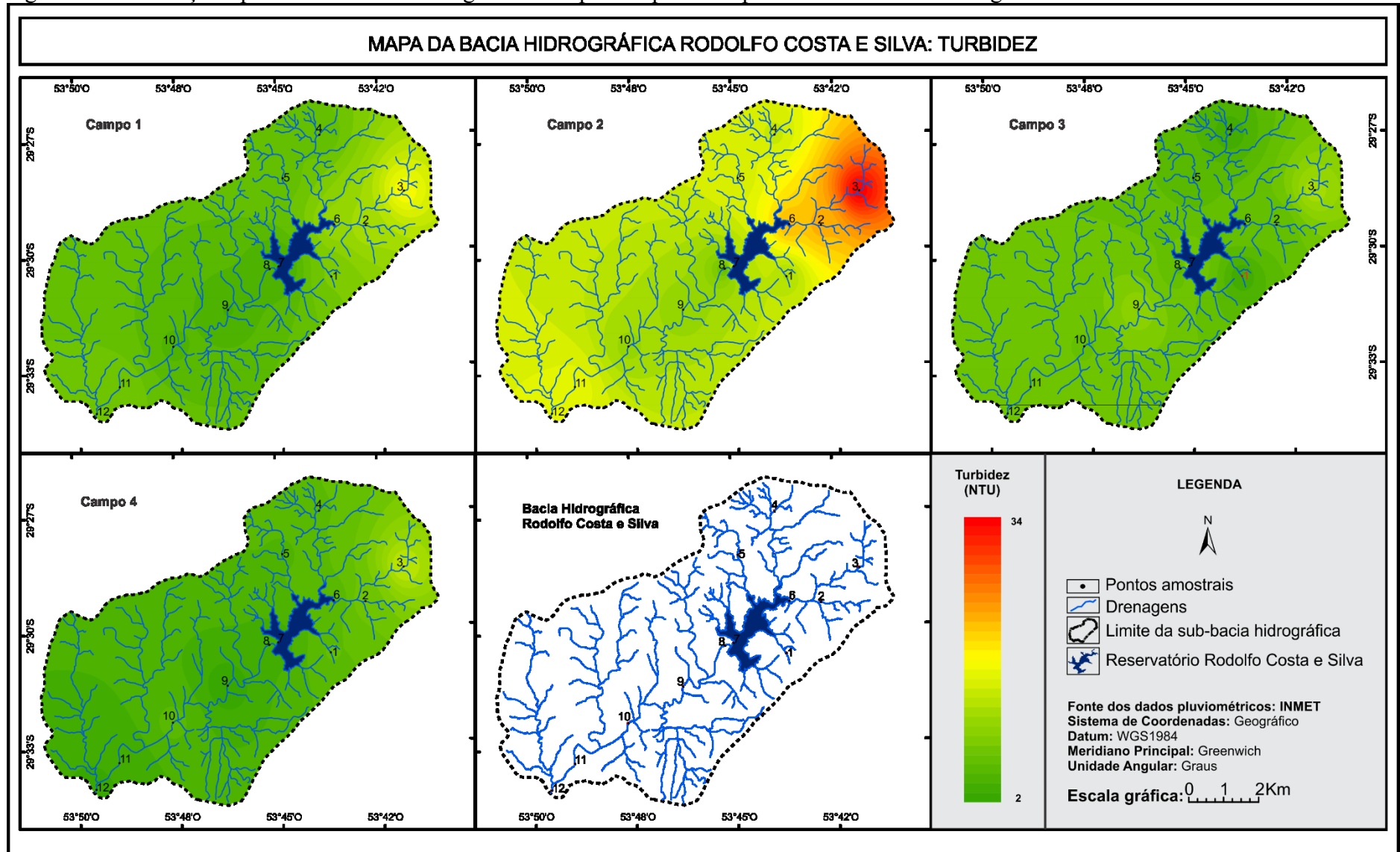
No campo 2 (20/11/2015) foi nítida a diferença no comportamento da turbidez na bacia hidrográfica. Praticamente toda a área de estudo apresentou maiores concentrações de turbidez para essa data, com exceção no ponto 3 que apresentou valores mais elevados dessa variável limnológica em relação as demais coletadas nesse mesmo campo. Percebe-se que após a confluência com o reservatório os dados de turbidez tendem a um certo padrão no seu comportamento, diminuindo a influência do uso da terra de seus arredores.

Conforme se desloca em direção a serra mais a jusante do reservatório, há menor contribuição de sedimentos carregados para dentro das drenagens.

Então, para variável limnológica turbidez, a existência de um ambiente lótico interseccionado por ambiente lêntico modificou o comportamento dos dados, pois a partir da serra jusante, após o ambiente lêntico, considerando como início do sentido hídrico a região das nascentes, os dados apresentaram mais estabilidade no ambiente aquático, dando a entender que ao construir uma barreira artificial para retenção de água em reservatórios há interferência no comportamento desta variável limnológica.



Figura 40 – Distribuição espacial da variável limnológica turbidez para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



#### 4.3.7 Totais de Sólidos em Suspensão

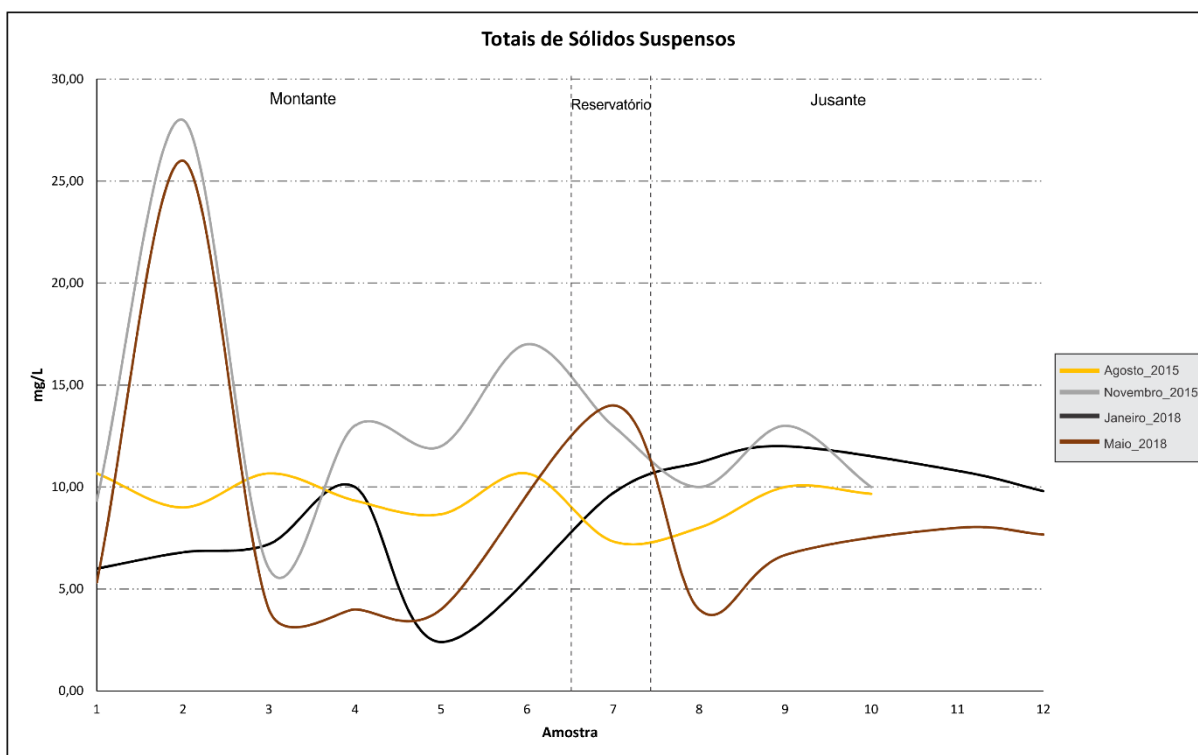
A presença de sólidos suspensos foi observada em todos os dados analisados nas amostras coletadas nas drenagens da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, ocorrendo apenas variações de acordo com as particularidades de cada porção da área e a época do ano. A Figura 41 mostra o comportamento da variável limnológica totais de sólidos em suspensão nos pontos amostrais para os quatro campos. Nos pontos amostrais que compreendem a sessão montante do reservatório (pontos de 1 a 6) foram encontradas as maiores médias de TSS, indicando relação anômala dessa variável limnológica com os dados obtidos nos demais pontos de coletas.

Outra situação a ser destacada na sessão montante da área estudada é que no ponto 2 ocorreram dois picos máximos no comportamento do TSS, ultrapassando os  $25\text{mg.L}^{-1}$ , nos campos 2 e 4. Este fato pode estar relacionado com os períodos de entressafras, momentos de preparo da terra para novos cultivos, tanto na primavera quanto no outono, quando são organizados os cultivos de verão e de inverno.

Na sessão jusante do reservatório, observou-se uma certa tendência à estabilidade dos dados de TSS para todos os campos, com valores próximos a  $10\text{mg.L}^{-1}$ , que também pode estar relacionado ao fato de que a região a jusante do reservatório pertence à reserva biológica Ibicui-Mirim, local onde há maior preservação da vegetação nativa nas proximidades das drenagens.

Essas diferenças entre os dados estudados podem estar vinculadas a forma de utilização do espaço no entorno das drenagens diferenciado em cada período do ano, principalmente relacionado a agricultura. No caso do campo 2 (20/11/2015) realizado na primavera, também pode haver relação com a precipitação ocorrida no local anterior à data de trabalho de campo, fato que auxilia no transporte de material (sedimento) para o interior do corpo de água (FORD, 1990; THORNTON, 1990).

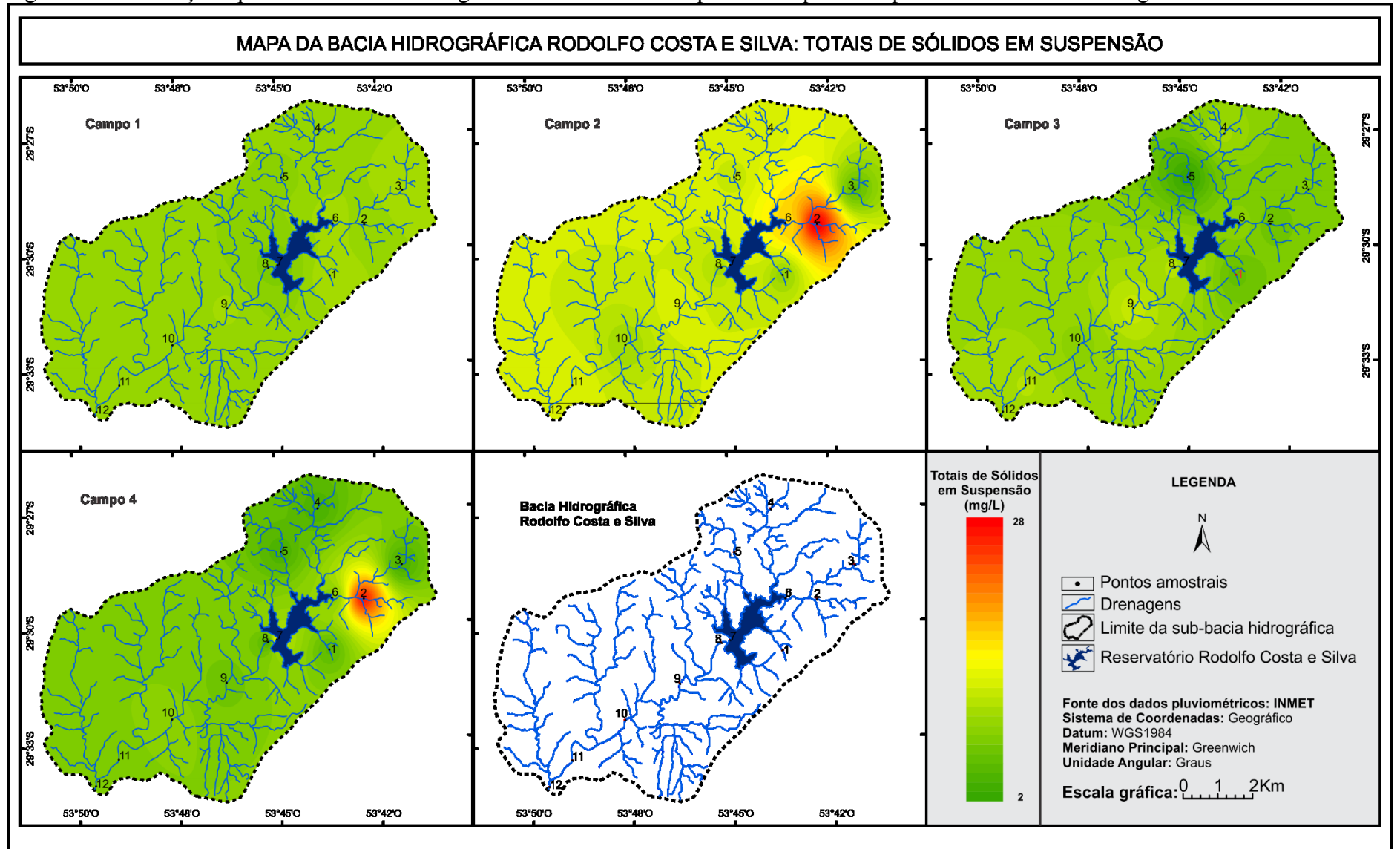
Figura 41 – Comportamento da variável limnológica totais de sólidos em suspensão nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



Na Figura 42 são apresentadas as espacializações do TSS referentes as quatro coletas de dados realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Em relação aos campos 1 e 3 realizados no inverno e verão, respectivamente, nessas duas datas de coleta de dados em campo, numa média geral apresentaram certo padrão no comportamento do TSS. Isto significa que houve diminuição do carreamento de sedimentos das bacias de captação para dentro do reservatório, rebaixando a média de TSS em relação aos meses anteriores.

No campo 2 (20/11/2015) foi nítida a diferença na concentração de sólidos suspensos na área de captação. Praticamente toda a área de estudo apresentou maiores concentrações de TSS para essa data, com exceção no ponto 2 que apresentou valores mais elevados dessa variável limnológica em relação as demais coletadas nesse mesmo campo. Percebe-se que após a confluência com o reservatório os dados de TSS tendem a um certo padrão no seu comportamento, diminuindo a influência do uso da terra de seus arredores. Conforme se desloca em direção a sésão mais a jusante do reservatório, há menor contribuição de sedimentos carreados para dentro das drenagens. Esta diferenciação do TSS nos diferentes setores aquáticos também foi verificada por Strassburguer e Pereira Filho (2003) em estudos realizados no reservatório Dona Francisca.

Figura 42 – Distribuição espacial da variável limnológica totais de sólidos em suspensão nos quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



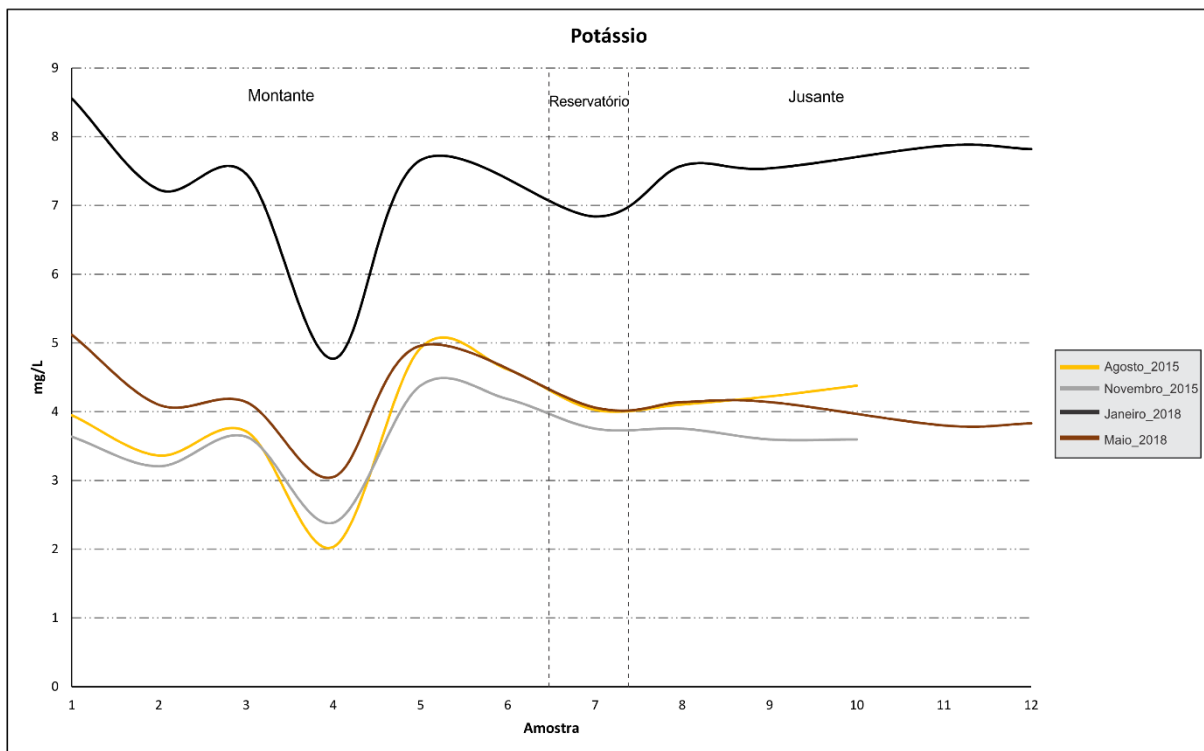
#### 4.3.8 Potássio

Ao longo de todo o período de estudo a concentração do íon potássio oscilou seu valor mínimo de  $2,03\text{mg.L}^{-1}$ , no campo 1 (07/08/2015), a  $8,56\text{mg.L}^{-1}$  no campo 3 (11/01/2018), de valor máximo, definindo uma média global de  $4,75\text{mg.L}^{-1}$ , para todas as coletas desta variável limnológica. A Figura 43 mostra a dinâmica sazonal do potássio, a qual foi caracterizada por um decréscimo considerável em seu conteúdo superficial, no ponto 4, localizado na sessão nordeste da área de estudo, seguida por uma tendência estabilidade ao longo dos pontos subsequentes. Nas amostras da sessão montante do reservatório, os dados apresentaram bastante oscilação entre os valores mínimos e máximos, enquanto que na sessão jusante do reservatório, os valores de potássio se mantiveram relativamente constantes para os quatro campos.

Quanto a análise dos dados em cada ponto amostral, os valores obtidos no campo 3 (11/01/2018), realizado no verão, teve uma concentração de potássio superior em todas as amostras, fato este que pode estar relacionado com a época de cultivo agrícola mais acentuado, visto que a região apresenta forte cultivo da soja, e nesta época do ano este elemento é bastante utilizado nos fertilizantes aplicados na agricultura. Já os dados dos campos 1, 2 e 4, obtidos no inverno, primavera e outono, respectivamente, apresentaram comportamento bastante semelhante entre eles, se considerarmos o comparativo amostral (comparação entre amostras do mesmo ponto, mas em épocas distintas).

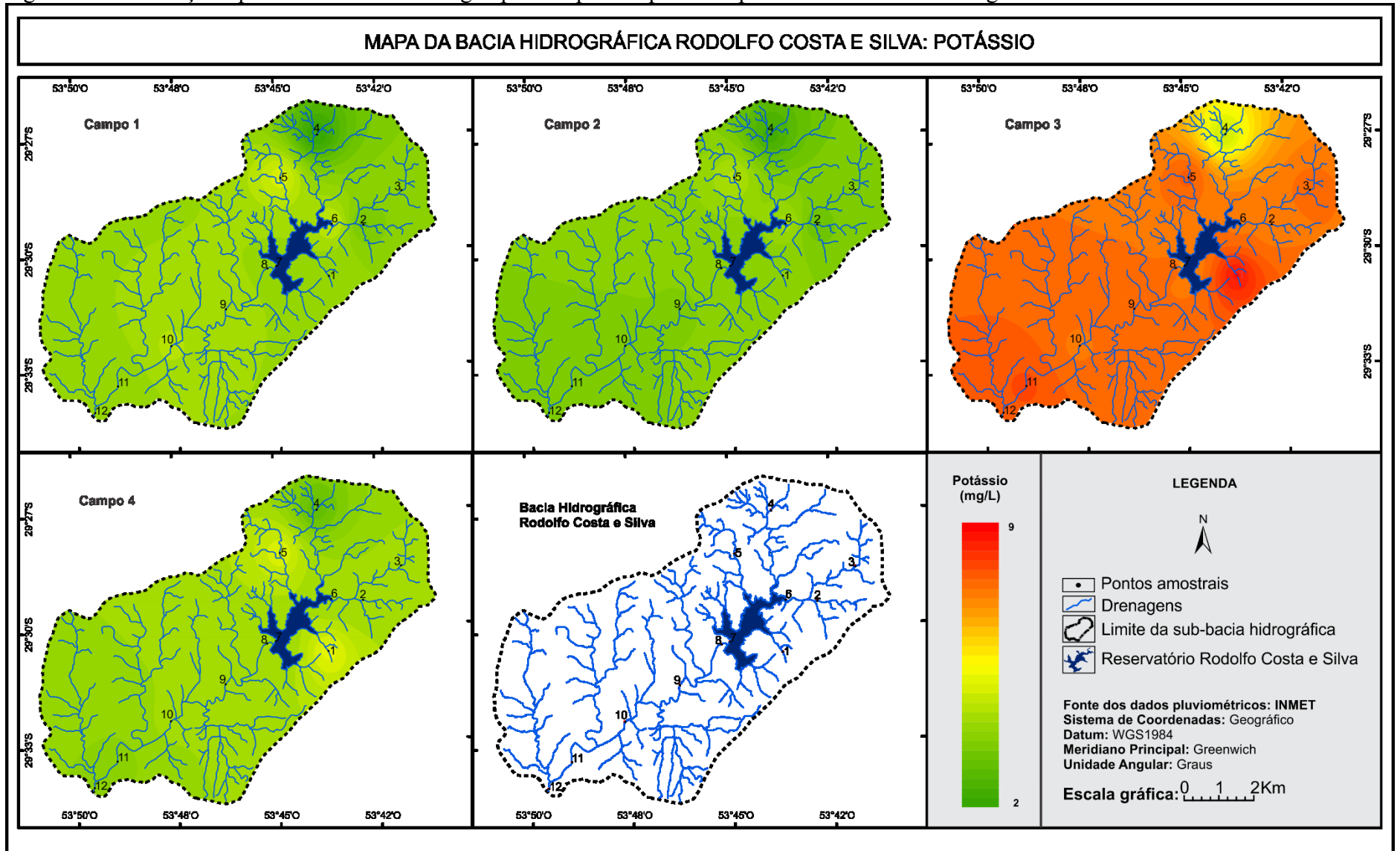
Então, para variável limnológica potássio, a existência de um ambiente lótico interseccionado por ambiente lêntico modificou o comportamento dos dados, pois a partir da sessão jusante, após o ambiente lêntico, considerando como início do sentido hídrico a região das nascentes, os dados apresentaram mais estabilidade no ambiente aquático, dando a entender que ao construir uma barreira artificial para retenção de água em reservatórios há interferência no comportamento desta variável limnológica.

Figura 43 – Comportamento da variável limnológica totais de sólidos dissolvidos nos pontos amostrais para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



Na interpolação dos dados da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva (Figura 44) verificou-se a distribuição espacial do comportamento do potássio, o qual foi caracterizado por apresentar mais estabilidade e certa homogeneidade nos campos 1, 2 e 4. Para o campo 3 (11/01/2018), realizado no verão, observou-se um aumento significativo em todos os pontos amostrais, quando comparados com os mesmos pontos amostrais dos outros três campos, provavelmente associado a algum fertilizante que são aplicados nos cultivos agrícolas nesta época do ano na maior parte da bacia hidrográfica. Durante o verão há o auge do cultivo de soja, atividade agrícola mais praticada na bacia hidrográfica em estudo.

Figura 44 – Distribuição espacial da variável limnológica potássio para os quatro campos realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



## 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Nesta parte da pesquisa foram analisados os dados estatísticos das variáveis limnológicas consideradas para este trabalho, que são elas: a temperatura do ar, a temperatura da água, a condutividade elétrica, os totais de sólidos dissolvidos, o potencial hidrogeniônico, a turbidez, os totais de sólidos em suspensão e o potássio. Os dados foram expostos em forma de tabelas e gráficos por campo realizado e por ponto amostral, considerando a média, a dispersão, a correlação entre as variáveis e a comparação entre as variáveis limnológicas, conforme podemos observar a seguir.

### 4.4.1 Medida de tendência central e Dispersão

A média e dispersão de dados ajuda a entender melhor sobre o quão é mais esticada ou mais exprimida a distribuição de algumas amostras, quando estamos tratando de análise estatística. As Figuras 45 e 47, mostram a estatística por missões de campo relacionadas a variável limnológica temperatura realizadas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Primeiramente, ao avaliar cada variável limnológica, podemos observar que a temperatura da água apresentou menor média no campo 2 (20/11/2015), durante a primavera, enquanto que a temperatura do ar teve sua menor média durante o campo 1 (07/08/2015), durante o inverno. Nesse contexto, a temperatura da água esteve relacionada com a temperatura do ar medida em campo.

Uma observação a ser feita refere-se ao período de inverno que na latitude em que está inserido a bacia hidrográfica estudada, apresenta temperaturas mais baixas no ano. Por outro lado, foi observado o aumento na temperatura da água realizada nas missões de verão, as quais também apresentaram temperaturas relacionadas com a época do ano. Com a água mais quente no campo em janeiro, resfriando-se até nos meses de maio e agosto e aquecendo-se novamente na sequência sazonal, perfazendo seu ciclo climático anual. Foi observado que a temperatura média do ar no verão (Janeiro) chegou próxima aos 30°C e a temperatura média da água esteve próxima aos 23°C. Na primavera foi registrado a menor média da temperatura do ar, próximo aos 20°C, enquanto que a menor média de temperatura da água, observada nos campos em que foram realizadas as coletas, foi registrada durante o inverno, próxima aos 18°C. Portanto, a temperatura do ar e a temperatura da água analisadas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, durante a vigência desta pesquisa, seguiu o ciclo anual das médias de temperaturas para



a localização geográfica em que se encontra a área de estudo, com diminuição de seu valor na entrada do inverno e aumento com a entrada do verão.

Outra observação regular que devemos fazer nesta área de pesquisa refere-se à variância da temperatura do ar e da água relacionada a estação do ano. Os maiores valores de desvio padrão foram registrados no campo 3 (11/01/2018), realizado no verão, com temperaturas médias do ar e da água oscilando próximo a 30°C e 23°C, respectivamente. Neste mesmo campo foi registrado a maior amplitude térmica, quase 9°C. Mesmo que as menores médias de temperaturas tenham sido registradas nos campos 2 e 4, nas estações de primavera e outono, respectivamente, as menores amplitudes térmicas foram registradas nos campos 1 e 2, durante inverno e primavera, respectivamente, e a maior variância na temperatura foi registrado durante os campos 3 e 4, durante o verão e outono, respectivamente.

Quanto a dispersão dos dados de temperatura, podemos observar nas Figuras 46 e 48 a estatística por ponto amostral dos dados de temperatura do ar e da água, respectivamente, da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Os dados de temperatura mostram que há uma tendência de redução na temperatura do ar no sentido do fluxo da rede hidrográfica, possivelmente associado ao fato de que na sessão jusante do reservatório existe a reserva ambiental do Ibicui-Mirim, o qual cria microclimas locais, diminuindo a temperatura do ar. Já com a temperatura da água, podemos perceber que há uma tendência de aumento da temperatura conforme segue o fluxo de água nas drenagens, possivelmente associado ao maior tempo da água exposta à radiação solar, fazendo com que as águas da sessão montante tenham temperaturas mais baixas em relação as temperaturas da sessão jusante da bacia hidrográfica.

Na análise estatística dos dados limnológicos de condutividade elétrica e potássio da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva podemos observar a estatística por campo nas Figuras 49 e 59, respectivamente. As maiores médias tanto de condutividade elétrica quanto de potássio foram registradas no campo 3 (11/01/2018), com 67,5 $\mu$ S e 7,33mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, durante o verão. Fato esse que coincidiu com os menores índices pluviométricos e as maiores médias de temperatura do ar e da água registrados no mesmo período. As maiores amplitudes nos dados também foram registradas no campo 3 (11/01/2018), com 36 $\mu$ S e 3,79mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, durante o verão.

Na análise estatística por ponto amostral dos dados de condutividade elétrica e potássio, Figuras 50 e 60, da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, podemos observar que há uma tendência inversamente proporcional entre os dados destas duas variáveis, ou seja, a medida que os dados de condutividade elétrica diminuíram no decorrer do fluxo das drenagens, de montante para jusante, os dados de potássio aumentaram. Essa situação também foi verificada

em pesquisas de PRETE (1992), o qual verificou uma relação inversa entre a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio.

Quanto à análise estatística dos dados limnológicos de turbidez da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva podemos observar a estatística por campo na Figura 55 e a estatística por ponto amostral na Figura 56. As maiores médias de turbidez foram registradas no campo 2 (20/11/2015), com 16,44NTU, durante a primavera. Fato esse que coincidiu com a maior média de TSS e elevados índices pluviométricos registrados no mesmo período, somados as maiores amplitudes de turbidez registradas nos dados também no campo 2 (20/11/2015), com 27,02NTU, durante a primavera.

Na análise estatística por ponto amostral dos dados de turbidez, Figura 56, da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, podemos observar que há uma tendência de queda nos valores dos dados no decorrer do fluxo das drenagens, de montante para jusante. Essa situação corrobora com o que foi verificado em relação aos dados de TSS e totais de sólidos dissolvidos, os quais também apresentaram um comportamento semelhante.

Em relação a análise estatística por ponto amostral dos dados de pH na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva, Figura 53, podemos verificar que a maior média de pH foi registrada no campo 3 (11/01/2018), com pH 7,2, durante o verão. Essa situação também foi verificada em relação aos dados de temperatura, de totais de sólidos dissolvidos, de condutividade elétrica e de potássio, os quais também apresentaram um comportamento semelhante, com maiores médias nos dados durante o mesmo período. Já em relação a análise estatística por ponto amostral dos dados de pH, Figura 54, podemos perceber que há uma tendência de aumento nos valores dos dados no decorrer do fluxo das drenagens, de montante para jusante. Essa situação coincide com o que foi verificado em relação ao comportamento dos dados de temperatura da água e potássio, os quais também apresentaram um comportamento semelhante.

No que se refere à análise estatística dos dados limnológicos de totais de sólidos em suspensão da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva podemos observar a estatística por campo na Figura 57 e a estatística por ponto amostral na Figura 58. A maior média de TSS foi registrada no campo 2 (20/11/2015), com 13,13mg.L<sup>-1</sup>, durante a primavera. Fato esse que coincidiu com elevados índices pluviométricos registrados no mesmo período. No entanto as maiores amplitudes nos dados foram registradas nos campos 2 e 4 (22mg.L<sup>-1</sup>), durante a primavera e outono.

Quanto a estatística por ponto amostral dos dados de TSS, podemos observar que há uma tendência de redução nos valores registrados conforme o fluxo de água das drenagens.

Em geral, como o ambiente lântico favorece à precipitação dos sedimentos, na sessão montante do reservatório os dados apresentaram maior média em relação aos dados da sessão jusante, fato esse que era de se esperar, tendo em vista que há um ambiente lântico entre as duas sessões de ambientes lóticos. Situação semelhante ocorreu com os dados de totais de sólidos dissolvidos, o qual também apresentou comportamento semelhante na estatística por ponto amostral, Figura 52. Já a estatística por campo dos dados de totais de sólidos dissolvidos, Figura 49, apresentou as maiores médias no campo 3 (11/01/2018), com  $39,1\text{mg.L}^{-1}$ , durante o verão. Fato esse que coincidiu com as maiores amplitudes nos dados de TSS, os quais foram registradas também no campo 3 (11/01/2018), com  $22\text{mg.L}^{-1}$ , durante o verão.

Figura 45 – Medida de tendência central por campo dos dados de temperatura do ar da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

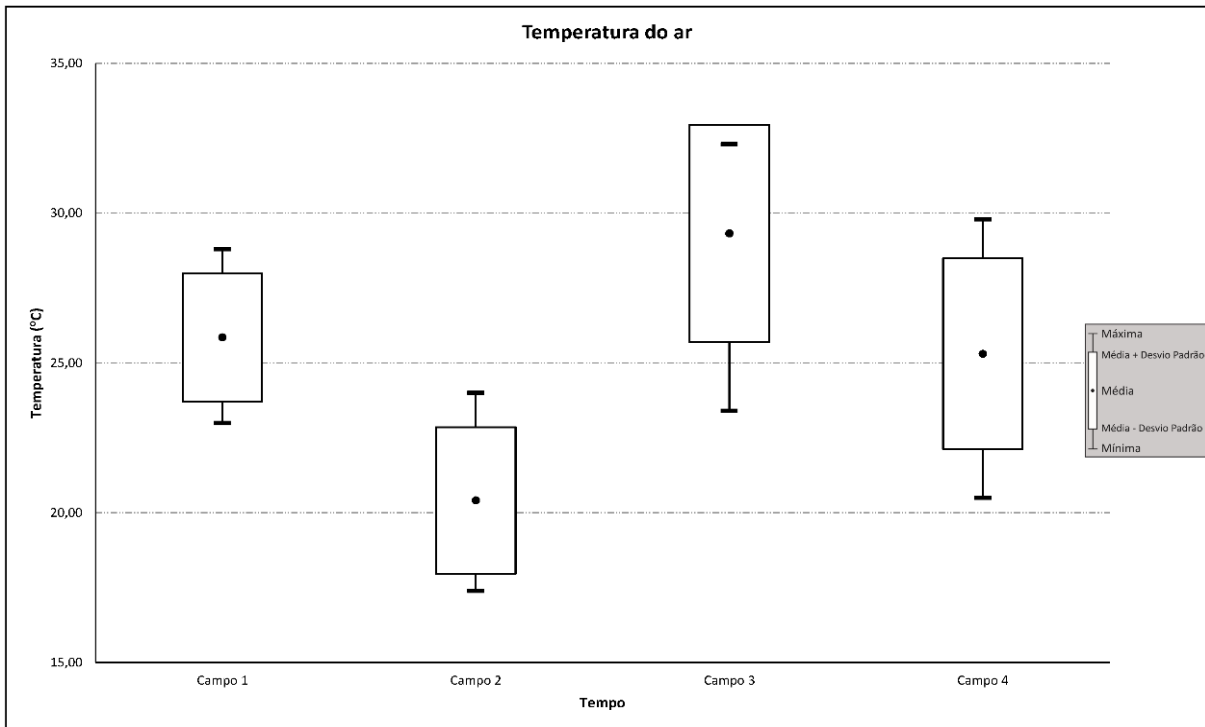


Figura 46 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de temperatura do ar da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

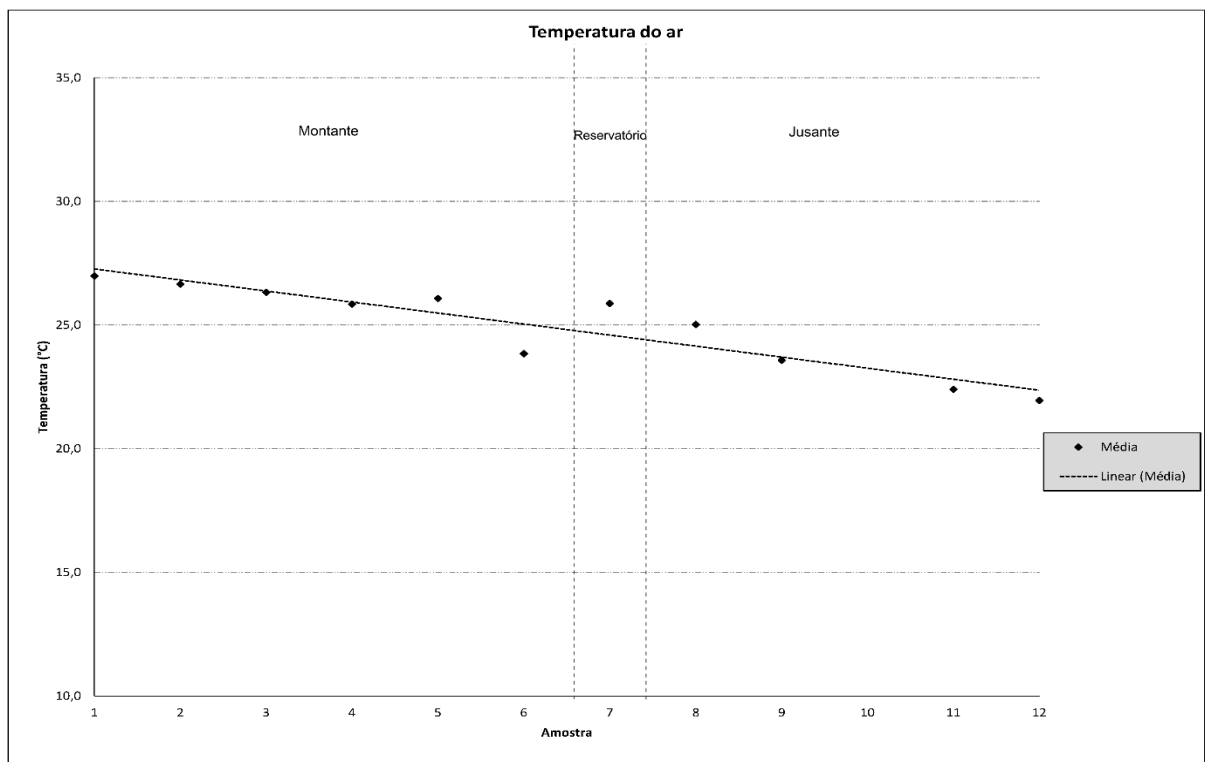


Figura 47 – Medida de tendência central por campo dos dados de temperatura da água da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

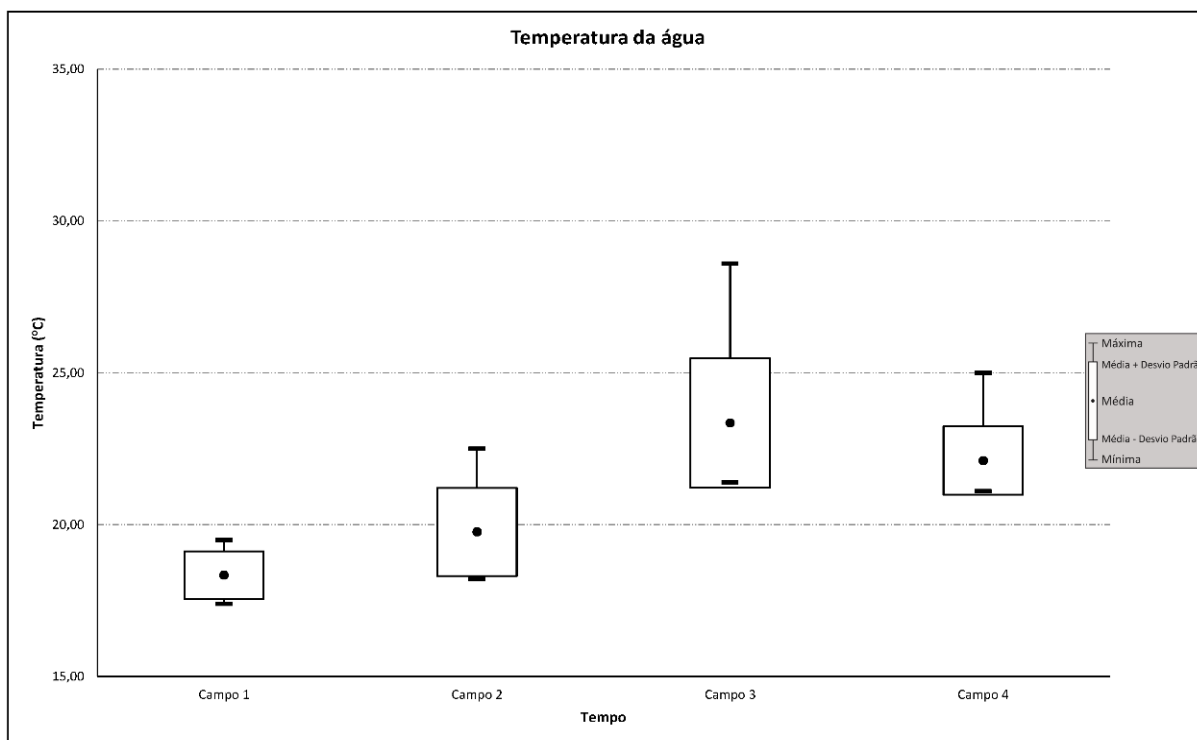


Figura 48 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de temperatura da água da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

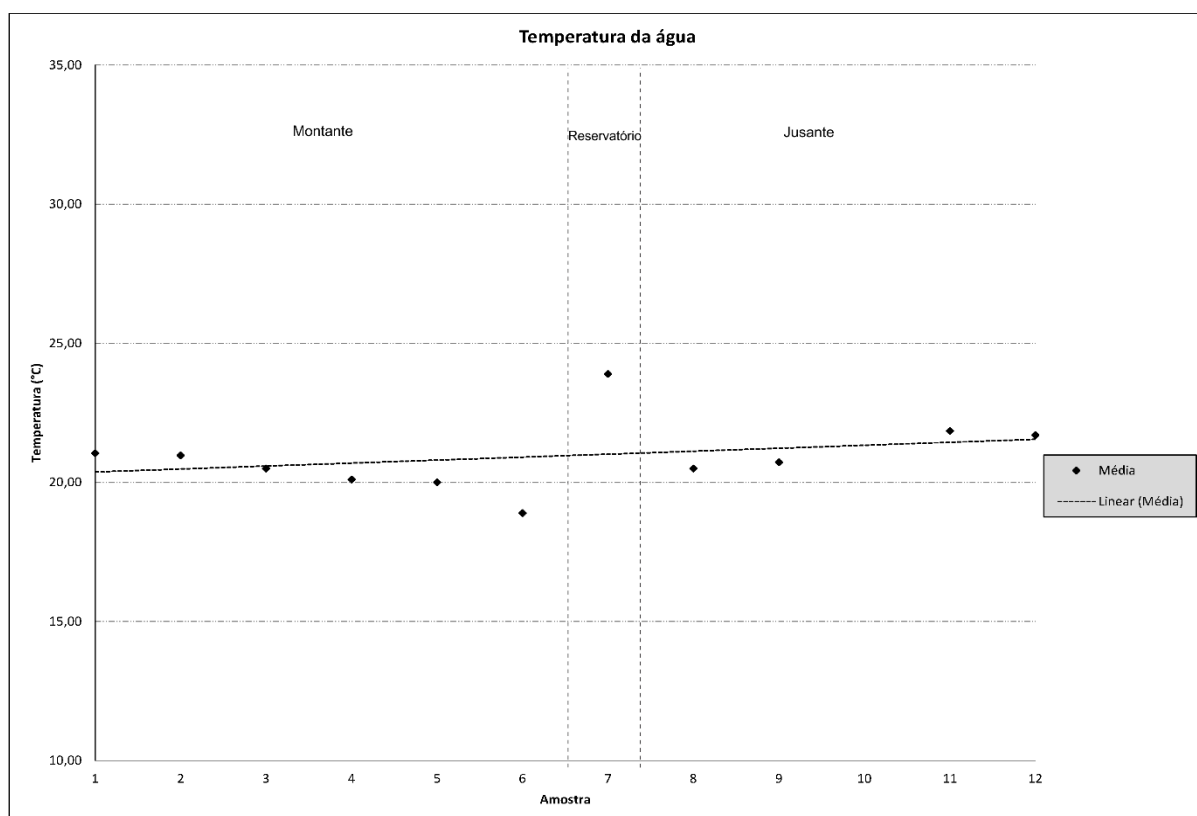


Figura 49 – Medida de tendência central por campo dos dados da condutividade elétrica da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

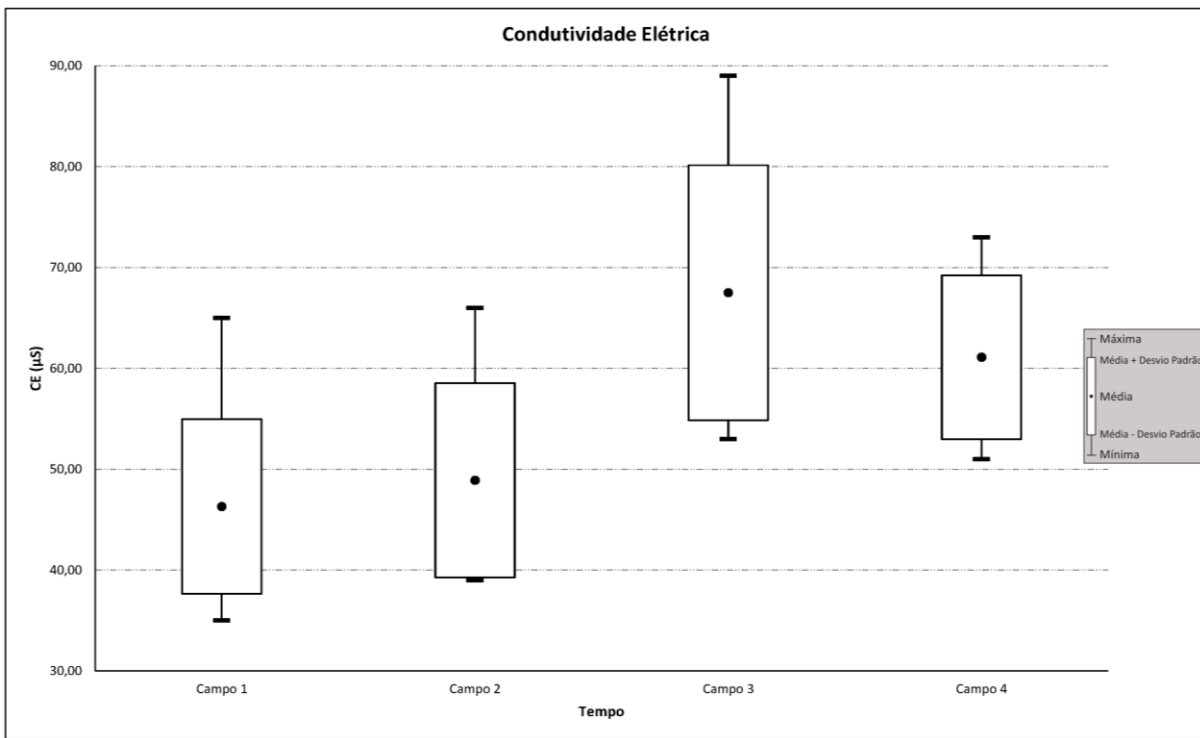


Figura 50 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de condutividade elétrica da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

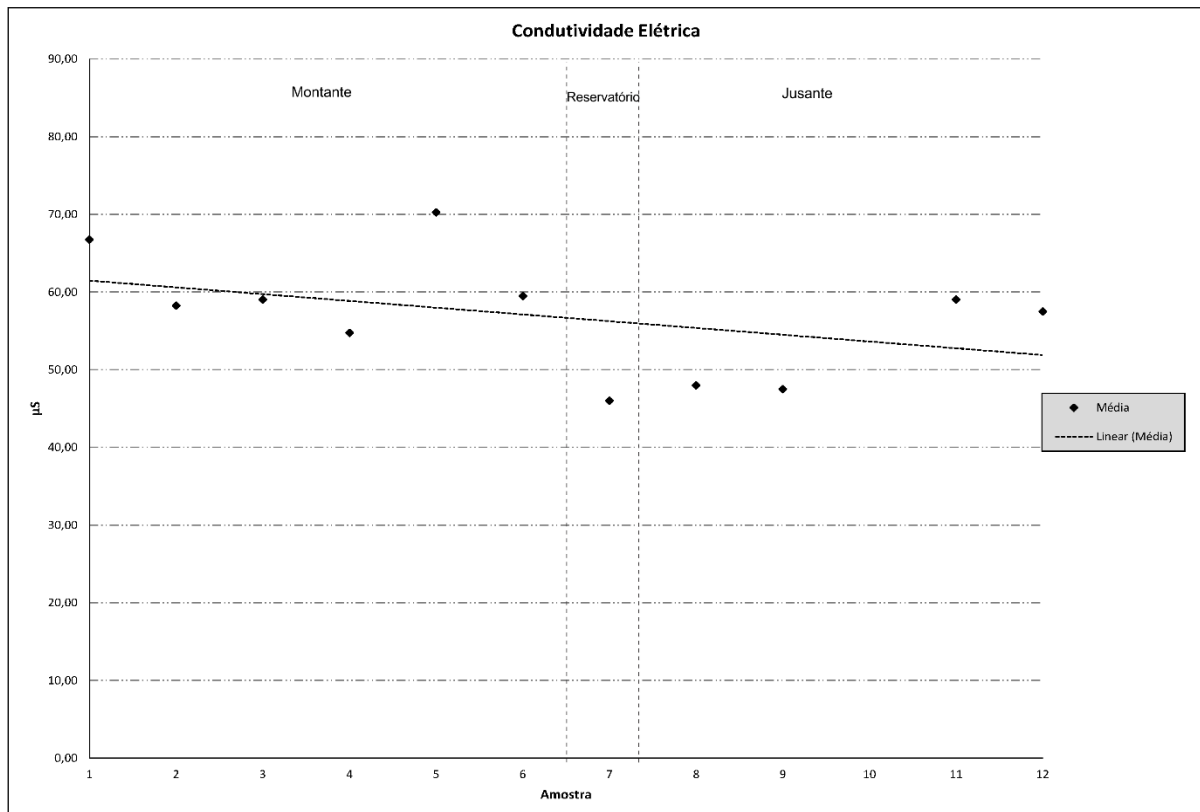


Figura 51 – Medida de tendência central por campo dos dados de totais de sólidos dissolvidos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

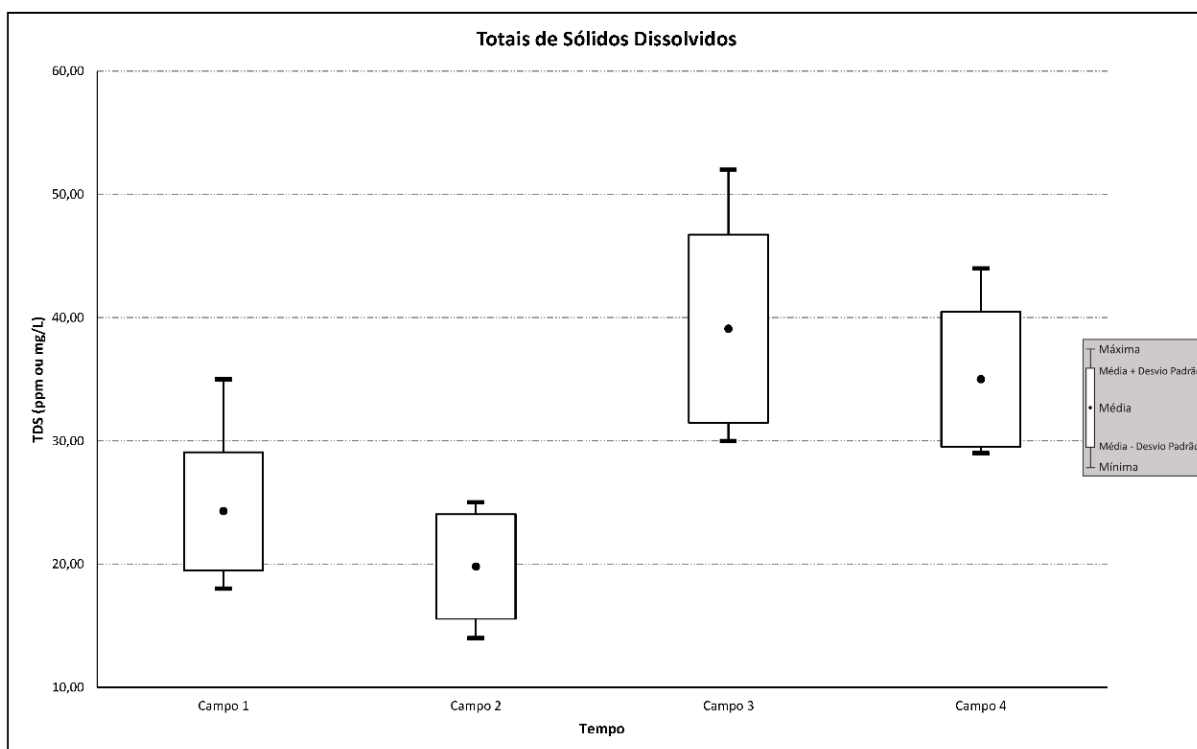


Figura 52 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de totais de sólidos dissolvidos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

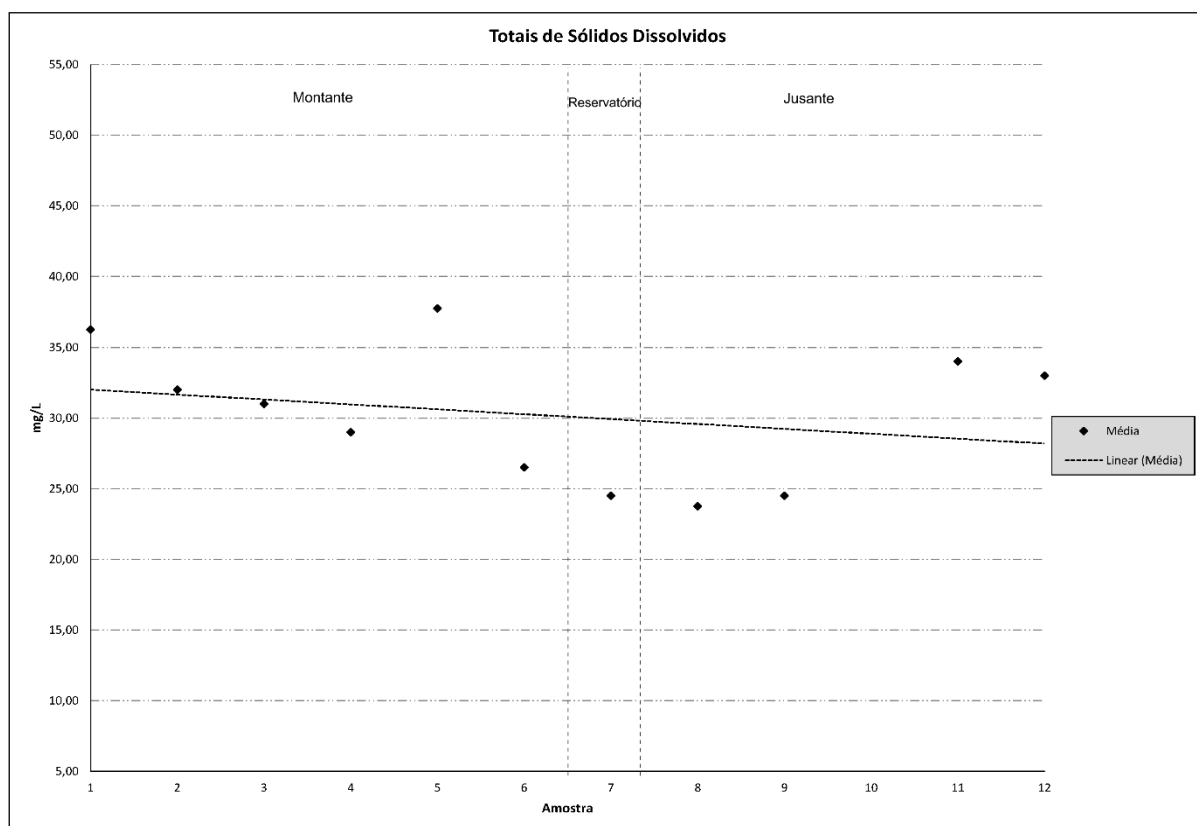


Figura 53 – Medida de tendência central por campo dos dados de potencial hidrogeniônico da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

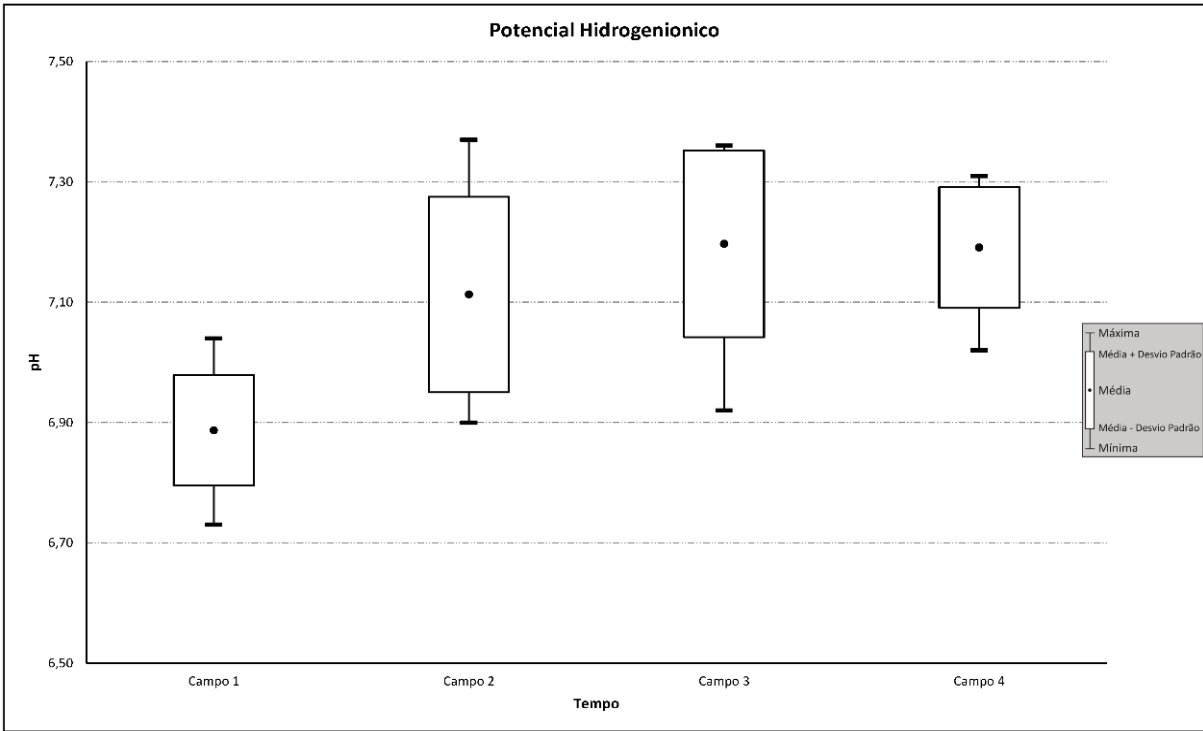


Figura 54 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de potencial hidrogeniônico da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

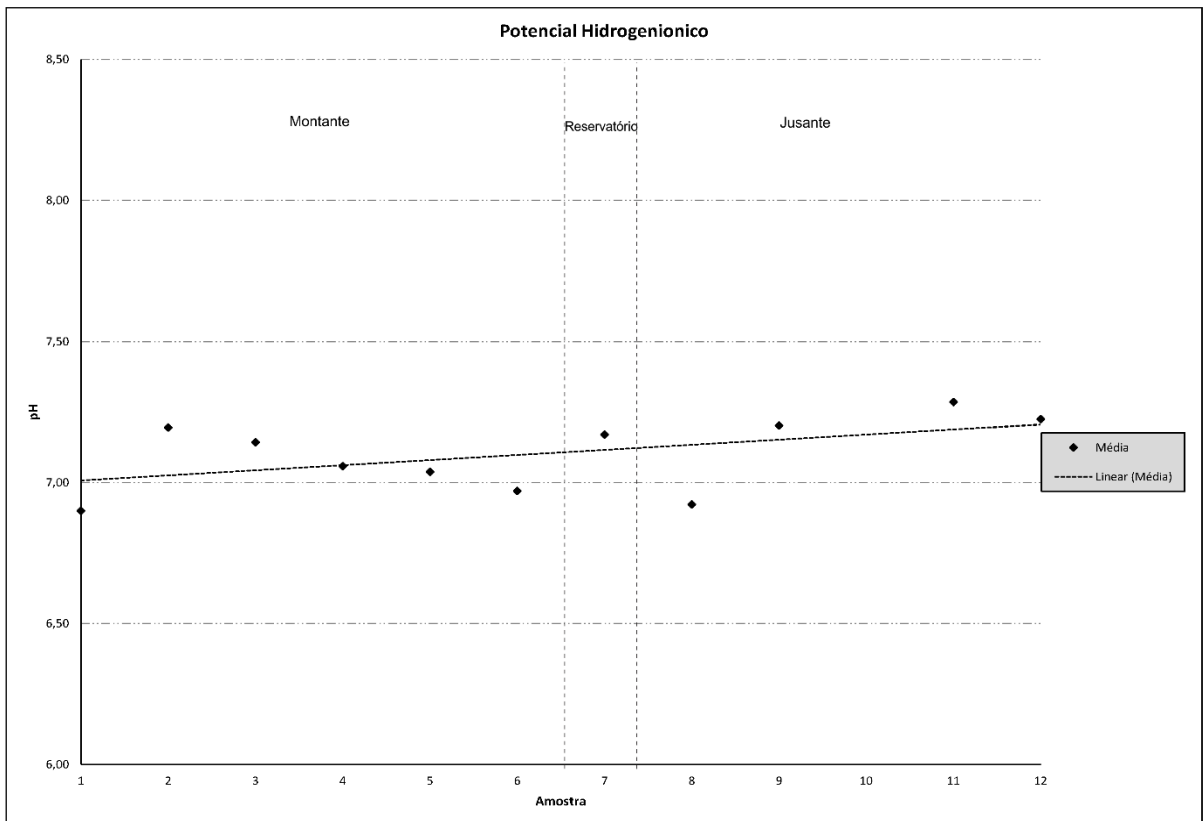




Figura 55 – Medida de tendência central por campo dos dados de turbidez da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

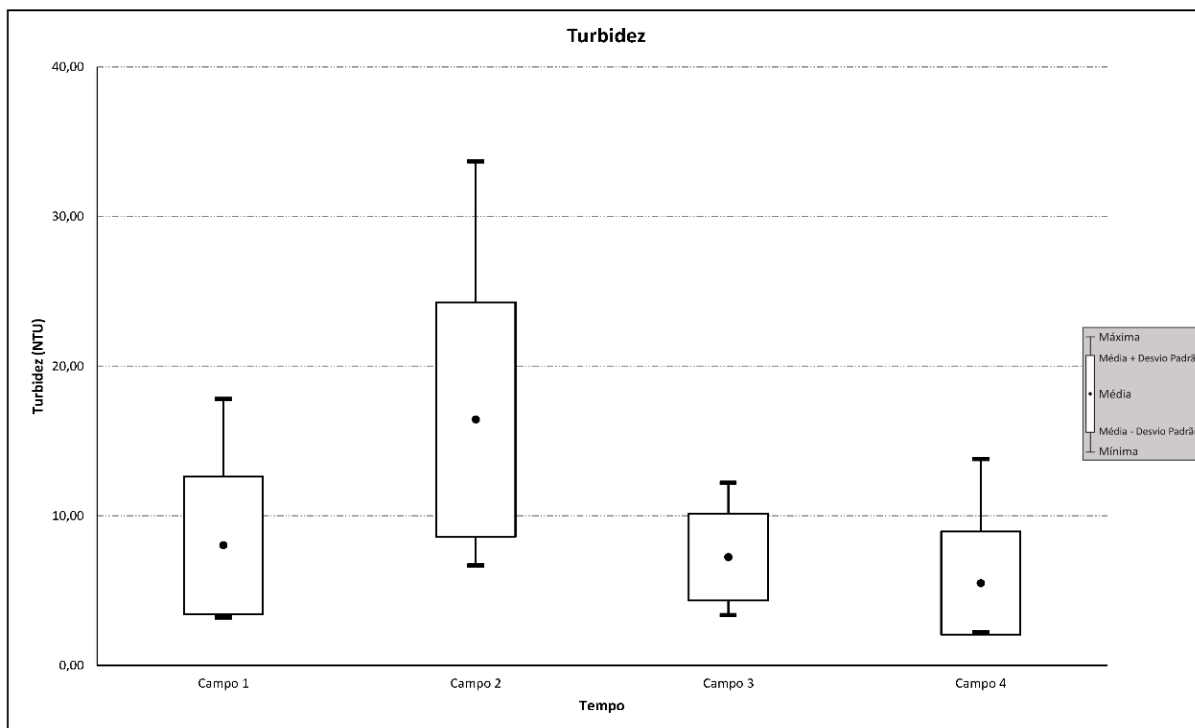


Figura 56 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de turbidez da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

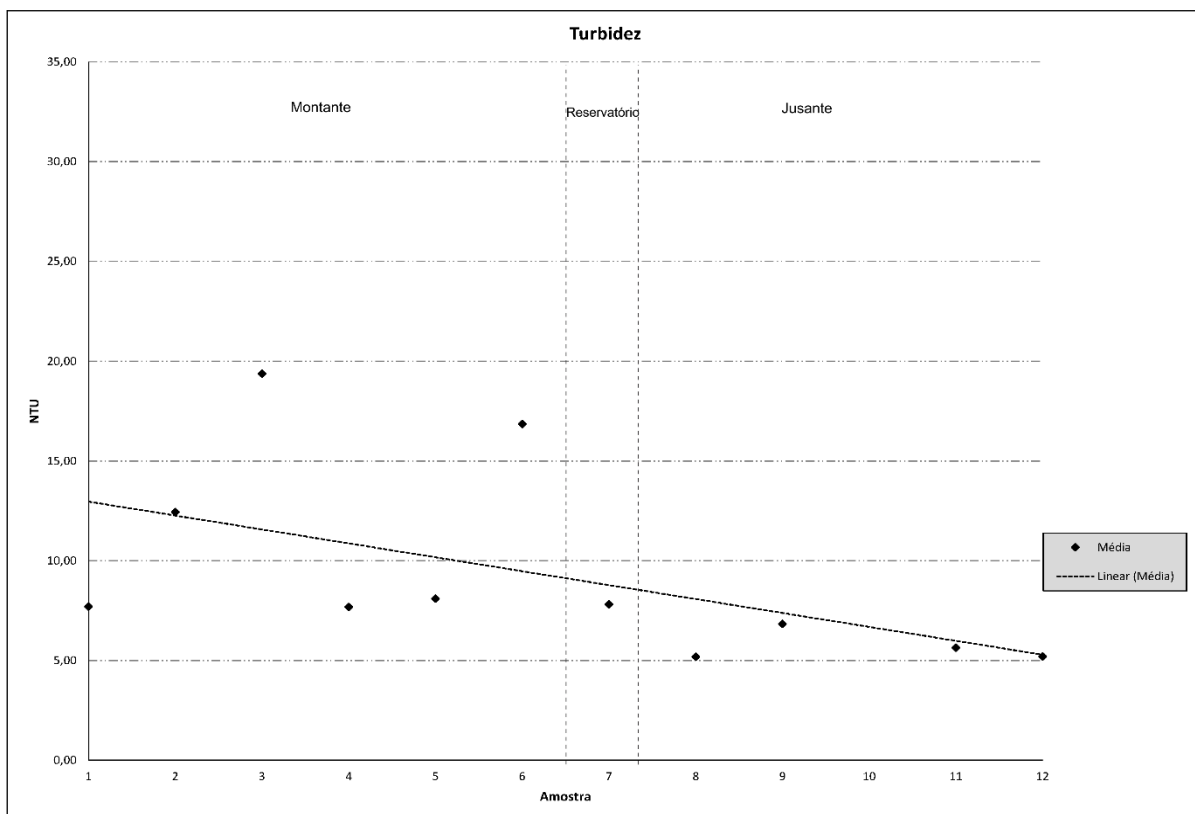


Figura 57 – Medida de tendência central por campo dos dados de totais de sólidos suspensos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

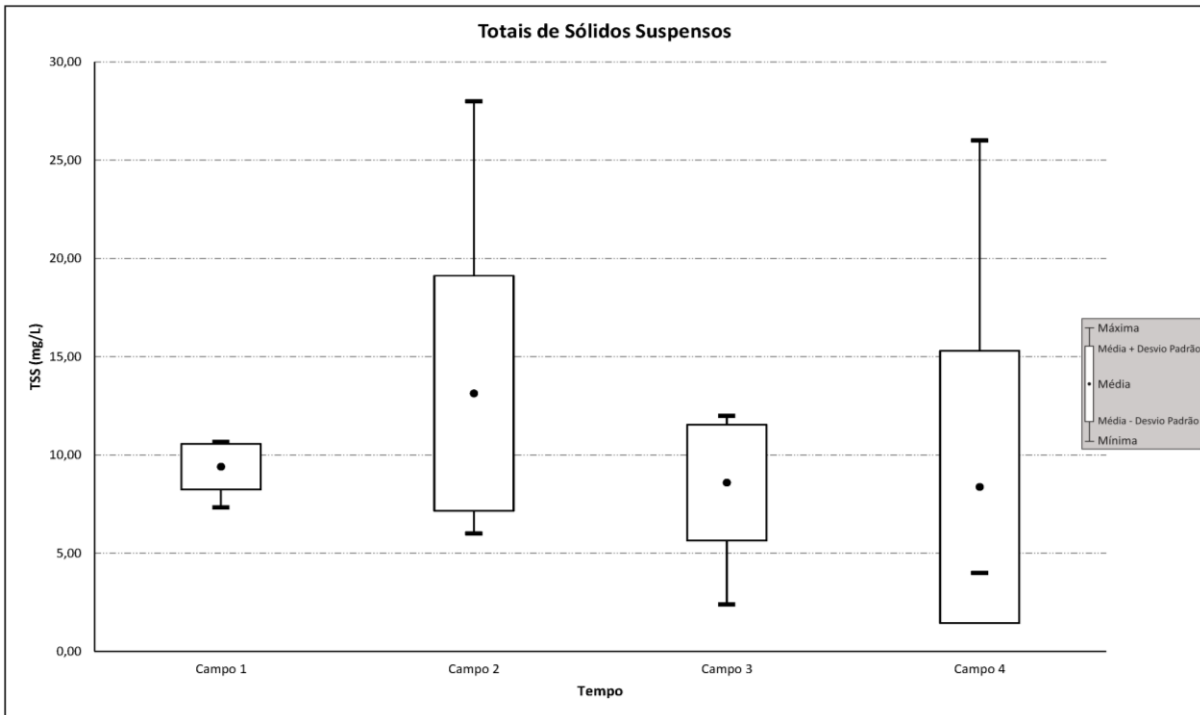


Figura 58 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de totais de sólidos suspensos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

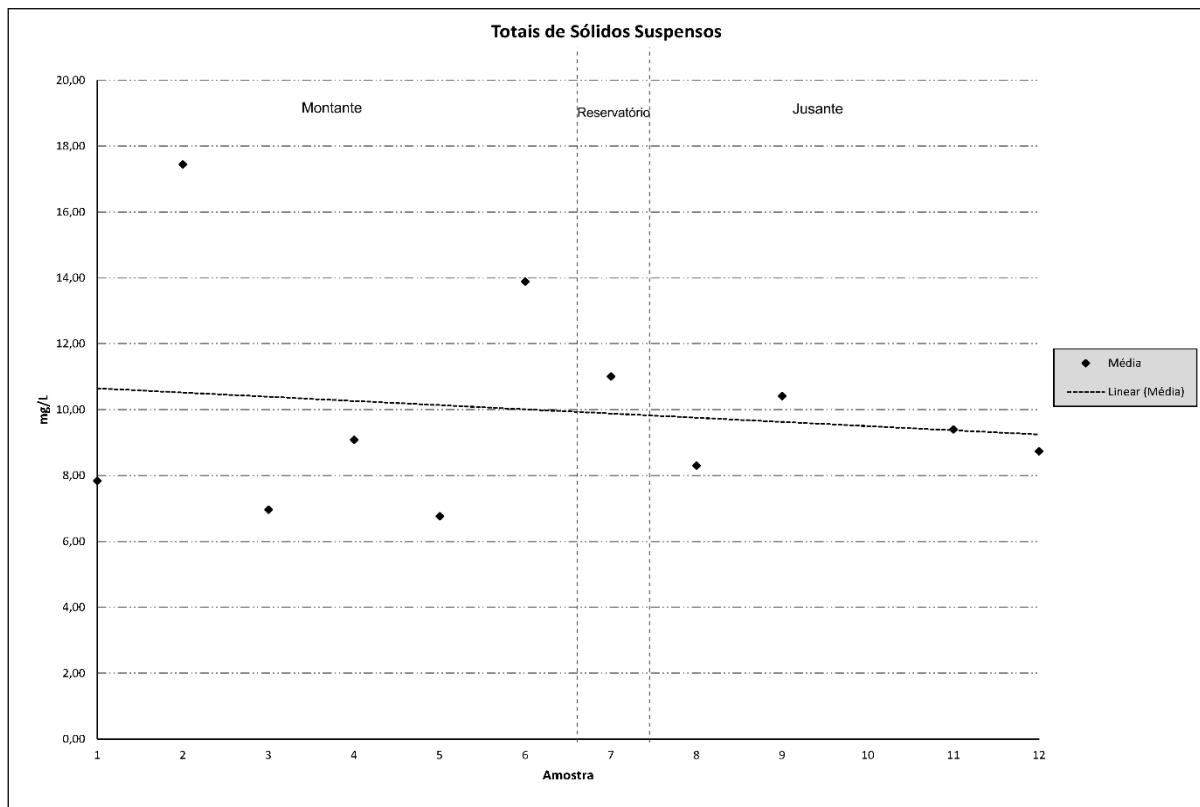


Figura 59 – Medida de tendência central por campo dos dados de potássio da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.

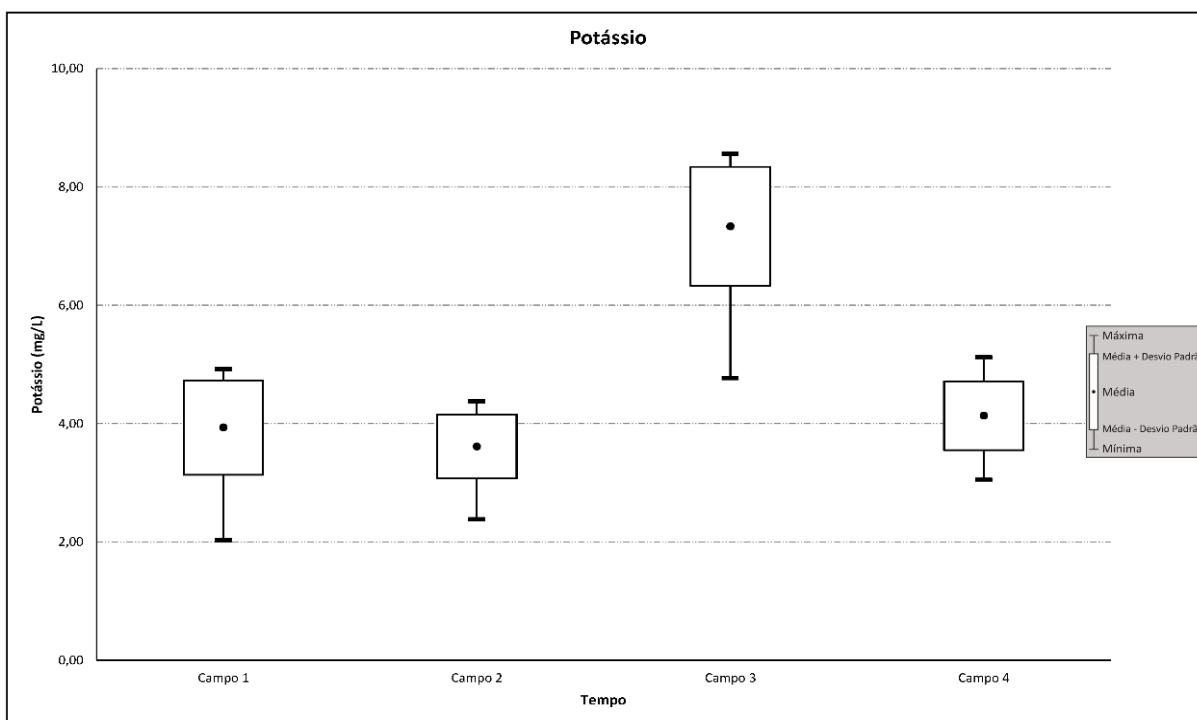
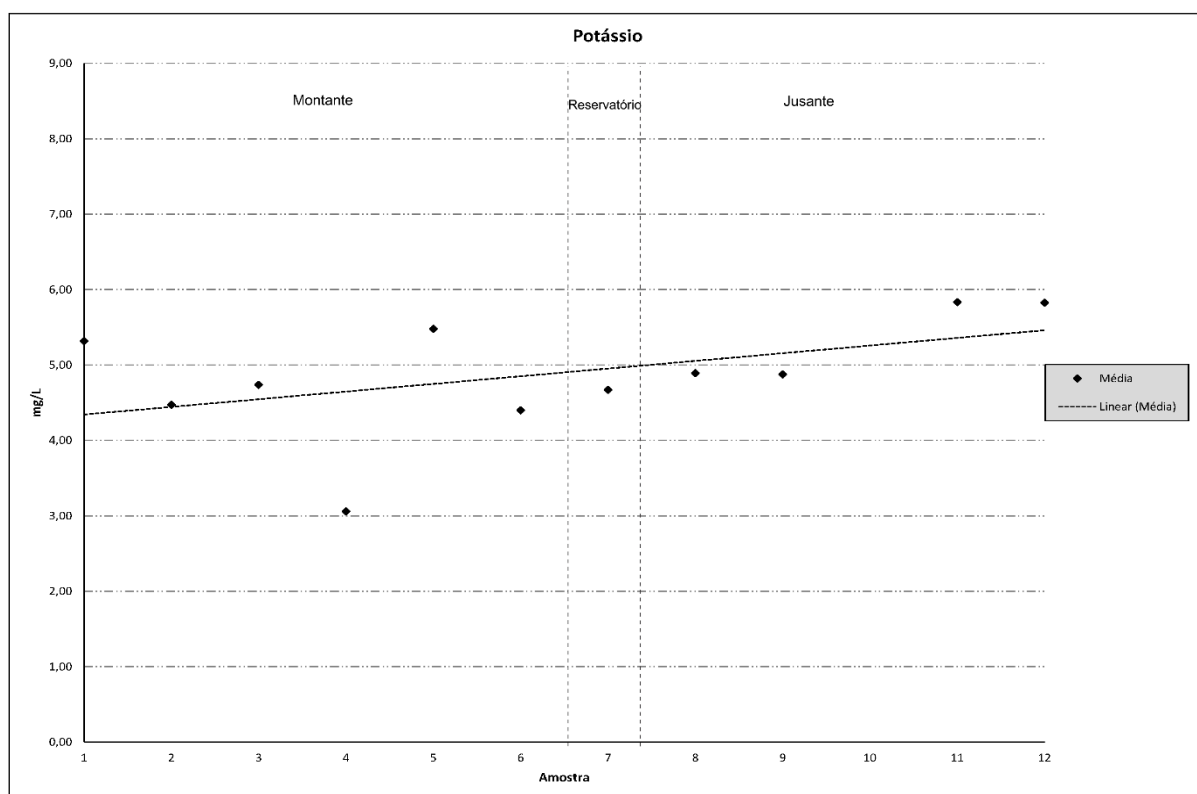


Figura 60 – Gráfico de dispersão por ponto amostral dos dados de potássio da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva.



#### 4.4.2 Correlação Entre as Variáveis Limnológicas

Analisar a correlação entre variáveis é uma importante fonte para o entendimento de um problema e uma maneira de encontrar possíveis soluções. Quando estamos mapeando um processo de uma maneira mais ampla precisamos identificar a saída do processo. Por exemplo, se estamos estudando variáveis limnológicas, a saída é entender a relação dessa variável com as outras, porém esta variável pode ser avaliada sobre importantes pontos de vista ou quais delas são mais importantes para nossa pesquisa. A intenção é tentar encontrar alguma relação entre essas variáveis. Encontrando essa relação podemos encontrar uma maneira de melhorar a nossa pesquisa. A correlação entre duas variáveis mostra quando uma delas, de alguma forma, está relacionada com a outra. Também podemos dizer que é quando a alteração no valor de uma variável independente provoca alterações no valor da variável dependente.

Com os dados amostrais de todas as variáveis limnológicas obtidos em campo para a análise desta pesquisa foi possível estabelecer as correlações entre essas variáveis. Muitos fatores internos e externos influenciam as características limnológicas de um ambiente aquático como a construção um reservatório, mas é importante considerar que há interferências mútuas entre algumas variáveis limnológicas. Nas Figuras 61, 62, 63 e 64, são apresentadas as correlações entre os valores das variáveis limnológicas de todos os pontos amostrados nas quatro coletas de dados, realizados na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. O principal destaque é para as correlações estatisticamente significativas com 95% de confiança, conforme os valores críticos da distribuição apresentados na matriz de correlação de Pearson (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Em relação a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas obtidas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva durante a etapa de coletas do campo 1 (07/08/2015), Figura 61, podemos observar que a temperatura do ar apresentou correlação mais forte com a turbidez (0,75), enquanto que a temperatura da água demonstrou melhor correlação com o pH (0,69). A condutividade elétrica apresentou forte correlação com os totais de sólidos dissolvidos (0,99), fato esse que já era de se esperar, tendo em vista que quanto maior a quantidade de matéria particulada na água, maior é a condutividade elétrica. Outra correlação considerável foi apresentada pela condutividade elétrica com o potássio (0,69), visto que estas variáveis limnológicas demonstram relação diretamente proporcional. Por fim, observamos uma alta correlação do potássio com os totais de sólidos dissolvidos (0,71), esta situação também já era esperada, visto que as relevantes relações encontradas ocorrem devido à presença de partículas que se encontram ionizadas (CETESB, 1992).

Quanto a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas obtidas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva durante a etapa de coletas do campo 2 (20/11/2015), Figura 62, podemos observar que a temperatura da água apresentou correlação mais forte com a condutividade elétrica (0,69) e com os totais de sólidos dissolvidos (0,81), fato esse que já era de se esperar, tendo em vista que quanto maior a quantidade de matéria particulada na água, maior é a condutividade elétrica. E, esta relação é acelerada conforme aumenta a temperatura da água, situação agregada a forte correlação que ocorreu entre a condutividade elétrica e os totais de sólidos dissolvidos (0,84). As demais situações relacionadas aos dados coletados na segunda missão de campo apresentaram correlação mais fraca.

Já a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas obtidas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva durante a etapa de coletas do campo 3 (11/01/2018), Figura 63, podemos observar que a condutividade elétrica apresentou correlação bastante forte com os totais de sólidos em suspensão (0,83) e fortíssima correlação também com os sólidos dissolvidos (1,00), situação essa já esperada, tendo em vista que quanto maior a quantidade de matéria particulada na água, maior é a condutividade elétrica. Esta situação também já foi verificada por CETESB, 1992, visto que as relevantes relações encontradas ocorrem devido à presença de partículas que se encontram ionizadas. Outra forte correlação foi apresentada entre os dados de TSS e os totais de sólidos dissolvidos (0,83), fato esse já esperado, visto que ambos possuem relação diretamente proporcional. Por fim, observamos uma boa correlação do pH com a turbidez (0,71), fato esse também verificado em estudos realizados por Chagas (2015).

Por último, temos a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas obtidas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva durante a etapa de coletas do campo 4 (07/05/2018), Figura 64, a qual podemos observar que a temperatura do ar apresentou correlação forte com a condutividade elétrica (0,71). Também foi verificado uma boa correlação da temperatura da água com os sólidos dissolvidos (0,70) e da temperatura da água com turbidez (0,68). Outra correlação fortíssima a ser destacada foi apresentada entre os dados de condutividade elétrica com os sólidos dissolvidos (0,96), situação essa já esperada, visto que quanto maior a quantidade de matéria particulada na água, maior é a condutividade elétrica.

Em relação a matriz de correlação de P-valores, esta compreende a determinação do grau de relação entre duas variáveis, dado pelo coeficiente de Pearson, também chamado de coeficiente de correlação, ou ainda, simplesmente correlação para os pares de variáveis. Este coeficiente de correlação expressa o grau de dependência linear entre duas variáveis. O coeficiente de correlação tem valores entre  $-1$  e  $+1$ , sendo negativa quando uma variável

diminui com o aumento da outra variável, e positiva quando uma variável aumenta com o aumento da outra.

A matriz de correlação P-valores, nas análises estatísticas referentes aos dados das quatro missões de campo, supondo a distribuição normal dos dados, foi testada a significância do coeficiente de correlação, via determinação do nível de significância, para verificar a nulidade ou não. Sendo assim, para as correlações significativas das variáveis limnológicas apresentadas na matriz de correlação de Pearson, a rejeição da hipótese nula foi julgada e chegou-se a conclusão que para tais variáveis limnológicas em destaque há correlação forte ou fortíssima. Considerando que correlação fraca é igual a seguinte situação:  $0,05 < P \leq 0,1$ , correlação forte é igual a  $0,01 < P \leq 0,05$  e correlação fortíssima é igual a  $P < 0,01$ . Todas as demais situações não destacadas nas matrizes de correlação das Figuras 61, 62, 63 e 64 foram consideradas correlação fraca.

Figura 61 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva - campo 1 (07/08/2015).

<b>Matriz de Correlação: Pearson</b>								
	Temp._Ar_(°C)	Temp._Água_(°C)	CE_(μS)	TDS_(ppm_ou_mg/L)	PH	Turbidez_(NTU)	TSS_(mg/L)	Potássio_(mg/L)
Temp._Ar_(°C)	1,00	0,13	0,02	0,12	0,03	-0,75	-0,54	0,53
Temp._Água_(°C)	0,13	1,00	-0,01	0,04	0,69	-0,26	-0,11	0,32
CE_(μS)	0,02	-0,01	1,00	0,99	-0,26	0,19	0,21	0,69
TDS_(ppm_ou_mg/L)	0,12	0,04	0,99	1,00	-0,25	0,07	0,12	0,71
PH	0,03	0,69	-0,26	-0,25	1,00	0,00	-0,03	0,13
Turbidez_(NTU)	-0,75	-0,26	0,19	0,07	0,00	1,00	0,58	-0,13
TSS_(mg/L)	-0,54	-0,11	0,21	0,12	-0,03	0,58	1,00	0,01
Potássio_(mg/L)	0,53	0,32	0,69	0,71	0,13	-0,13	0,01	1,00

<b>Matriz de P-valores</b>								
	Temp._Ar_(°C)	Temp._Água_(°C)	CE_(μS)	TDS_(ppm_ou_mg/L)	PH	Turbidez_(NTU)	TSS_(mg/L)	Potássio_(mg/L)
Temp._Ar_(°C)	1,00	0,73	0,96	0,75	0,93	0,01	0,11	0,12
Temp._Água_(°C)	0,73	1,00	0,99	0,91	0,03	0,46	0,76	0,36
CE_(μS)	0,96	0,99	1,00	0,00	0,47	0,59	0,55	0,03
TDS_(ppm_ou_mg/L)	0,75	0,91	0,00	1,00	0,48	0,85	0,75	0,02
PH	0,93	0,03	0,47	0,48	1,00	1,00	0,94	0,72
Turbidez_(NTU)	0,01	0,46	0,59	0,85	1,00	1,00	0,08	0,73
TSS_(mg/L)	0,11	0,76	0,55	0,75	0,94	0,08	1,00	0,98
Potássio_(mg/L)	0,12	0,36	0,03	0,02	0,72	0,73	0,98	1,00

Onde:

Temp\_Ar – temperatura do ar;

Temp\_Água – temperatura da água;

CE – Condutividade elétrica;

TDS – Totais de sólidos dissolvidos;

pH – Potencial Hidrogeniônico;

Turbidez – Turbidez;

TSS - totais de sólidos em suspensão;

Potássio – Potássio;

Figura 62 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva - campo 2 (20/11/2015).

<b>Matriz de Correlação: Pearson</b>								
	<i>Temp._Ar_(°C)</i>	<i>Temp._Água_(°C)</i>	<i>CE_(μS)</i>	<i>TDS_(ppm_ou_mg/L)</i>	<i>PH</i>	<i>Turbidez_(NTU)</i>	<i>TSS_(mg/L)</i>	<i>Potássio_(mg/L)</i>
<i>Temp._Ar_(°C)</i>	1,00	-0,34	0,25	0,53	-0,33	0,47	0,45	0,21
<i>Temp._Água_(°C)</i>	-0,34	1,00	-0,69	-0,81	0,38	-0,61	-0,11	0,07
<i>CE_(μS)</i>	0,25	-0,69	1,00	0,84	-0,60	0,31	0,04	0,49
<i>TDS_(ppm_ou_mg/L)</i>	0,53	-0,81	0,84	1,00	-0,44	0,45	0,32	0,26
<i>PH</i>	-0,33	0,38	-0,60	-0,44	1,00	0,01	0,21	-0,26
<i>Turbidez_(NTU)</i>	0,47	-0,61	0,31	0,45	0,01	1,00	0,14	0,03
<i>TSS_(mg/L)</i>	0,45	-0,11	0,04	0,32	0,21	0,14	1,00	-0,18
<i>Potássio_(mg/L)</i>	0,21	0,07	0,49	0,26	-0,26	0,03	-0,18	1,00

<b>Matriz de P-valores</b>								
	<i>Temp._Ar_(°C)</i>	<i>Temp._Água_(°C)</i>	<i>CE_(μS)</i>	<i>TDS_(ppm_ou_mg/L)</i>	<i>PH</i>	<i>Turbidez_(NTU)</i>	<i>TSS_(mg/L)</i>	<i>Potássio_(mg/L)</i>
<i>Temp._Ar_(°C)</i>	1,00	0,33	0,49	0,12	0,35	0,17	0,20	0,57
<i>Temp._Água_(°C)</i>	0,33	1,00	0,03	0,00	0,27	0,06	0,77	0,85
<i>CE_(μS)</i>	0,49	0,03	1,00	0,00	0,07	0,39	0,91	0,15
<i>TDS_(ppm_ou_mg/L)</i>	0,12	0,00	0,00	1,00	0,20	0,19	0,37	0,47
<i>PH</i>	0,35	0,27	0,07	0,20	1,00	0,99	0,56	0,47
<i>Turbidez_(NTU)</i>	0,17	0,06	0,39	0,19	0,99	1,00	0,70	0,94
<i>TSS_(mg/L)</i>	0,20	0,77	0,91	0,37	0,56	0,70	1,00	0,62
<i>Potássio_(mg/L)</i>	0,57	0,85	0,15	0,47	0,47	0,94	0,62	1,00

Onde:

Temp\_Ar – temperatura do ar;

Temp\_Água – temperatura da água;

CE – Condutividade elétrica;

TDS – Totais de sólidos dissolvidos;

pH – Potencial Hidrogeniônico;

Turbidez – Turbidez;

TSS - totais de sólidos em suspensão;

Potássio – Potássio;



Figura 63 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva - campo 3 (11/01/2018).

<b>Matriz de Correlação: Pearson</b>								
	Temp._Ar_(°C)	Temp._Água_(°C)	CE_(μS)	TDS_(ppm_ou_mg/L)	PH	Turbidez_(NTU)	TSS_(mg/L)	Potássio_(mg/L)
Temp._Ar_(°C)	1,00	0,40	0,67	0,65	0,00	-0,27	-0,64	-0,32
Temp._Água_(°C)	0,40	1,00	0,03	0,06	0,26	0,24	-0,16	-0,02
CE_(μS)	0,67	0,03	1,00	1,00	-0,14	-0,47	-0,83	0,16
TDS_(ppm_ou_mg/L)	0,65	0,06	1,00	1,00	-0,11	-0,47	-0,83	0,14
PH	0,00	0,26	-0,14	-0,11	1,00	0,71	0,00	-0,15
Turbidez_(NTU)	-0,27	0,24	-0,47	-0,47	0,71	1,00	0,30	0,17
TSS_(mg/L)	-0,64	-0,16	-0,83	-0,83	0,00	0,30	1,00	-0,23
Potássio_(mg/L)	-0,32	-0,02	0,16	0,14	-0,15	0,17	-0,23	1,00

<b>Matriz de P-valores</b>								
	Temp._Ar_(°C)	Temp._Água_(°C)	CE_(μS)	TDS_(ppm_ou_mg/L)	PH	Turbidez_(NTU)	TSS_(mg/L)	Potássio_(mg/L)
Temp._Ar_(°C)	1,00	0,25	0,04	0,04	0,99	0,45	0,05	0,36
Temp._Água_(°C)	0,25	1,00	0,93	0,88	0,47	0,50	0,65	0,97
CE_(μS)	0,04	0,93	1,00	0,00	0,69	0,17	0,00	0,66
TDS_(ppm_ou_mg/L)	0,04	0,88	0,00	1,00	0,76	0,17	0,00	0,69
PH	0,99	0,47	0,69	0,76	1,00	0,02	0,99	0,68
Turbidez_(NTU)	0,45	0,50	0,17	0,17	0,02	1,00	0,41	0,64
TSS_(mg/L)	0,05	0,65	0,00	0,00	0,99	0,41	1,00	0,52
Potássio_(mg/L)	0,36	0,97	0,66	0,69	0,68	0,64	0,52	1,00

Onde:

Temp\_Ar – temperatura do ar;

Temp\_Água – temperatura da água;

CE – Condutividade elétrica;

TDS – Totais de sólidos dissolvidos;

pH – Potencial Hidrogeniônico;

Turbidez – Turbidez;

TSS - totais de sólidos em suspensão;

Potássio – Potássio;

Figura 64 – Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva - campo 4 (07/05/2018).

<b>Matriz de Correlação: Pearson</b>								
	Temp._Ar_(°C)	Temp._Água_(°C)	CE_(μS)	TDS_(ppm_ou_mg/L)	PH	Turbidez_(NTU)	TSS_(mg/L)	Potássio_(mg/L)
Temp._Ar_(°C)	1,00	0,34	0,71	0,70	-0,34	0,68	0,05	0,09
Temp._Água_(°C)	0,34	1,00	-0,23	-0,19	0,06	0,13	0,32	0,03
CE_(μS)	0,71	-0,23	1,00	0,96	-0,42	0,63	-0,08	0,41
TDS_(ppm_ou_mg/L)	0,70	-0,19	0,96	1,00	-0,31	0,58	-0,12	0,44
PH	-0,34	0,06	-0,42	-0,31	1,00	-0,08	0,38	-0,45
Turbidez_(NTU)	0,68	0,13	0,63	0,58	-0,08	1,00	0,05	0,07
TSS_(mg/L)	0,05	0,32	-0,08	-0,12	0,38	0,05	1,00	-0,07
Potássio_(mg/L)	0,09	0,03	0,41	0,44	-0,45	0,07	-0,07	1,00

<b>Matriz de P-valores</b>								
	Temp._Ar_(°C)	Temp._Água_(°C)	CE_(μS)	TDS_(ppm_ou_mg/L)	PH	Turbidez_(NTU)	TSS_(mg/L)	Potássio_(mg/L)
Temp._Ar_(°C)	1,00	0,34	0,02	0,02	0,34	0,03	0,89	0,82
Temp._Água_(°C)	0,34	1,00	0,52	0,61	0,86	0,72	0,37	0,94
CE_(μS)	0,02	0,52	1,00	0,00	0,22	0,05	0,83	0,24
TDS_(ppm_ou_mg/L)	0,02	0,61	0,00	1,00	0,38	0,08	0,74	0,20
PH	0,34	0,86	0,22	0,38	1,00	0,82	0,28	0,19
Turbidez_(NTU)	0,03	0,72	0,05	0,08	0,82	1,00	0,88	0,84
TSS_(mg/L)	0,89	0,37	0,83	0,74	0,28	0,88	1,00	0,84
Potássio_(mg/L)	0,82	0,94	0,24	0,20	0,19	0,84	0,84	1,00

Onde:

Temp\_Ar – temperatura do ar;

Temp\_Água – temperatura da água;

CE – Condutividade elétrica;

TDS – Totais de sólidos dissolvidos;

pH – Potencial Hidrogeniônico;

Turbidez – Turbidez;

TSS - totais de sólidos em suspensão;

Potássio – Potássio;

#### 4.4.3 Comparação Entre as Variáveis Limnológicas nas Diferentes Sessões

A hipótese que buscou-se testar nesse trabalho de pesquisa foi verificar se o grupo de variáveis limnológicas temperatura do ar, temperatura da água, Condutividade Elétrica, Totais de Sólidos Dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de Sólidos em Suspensão e Potássio, extraídas da sessão montante do reservatório da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva são estatisticamente iguais ao grupo de variáveis limnológicas da sessão jusante do reservatório. Com os dados amostrais obtidos nas missões de campo e a determinação dos valores médios das amostras em cada sessão, *tabelas 8, 9, 10 e 11*, foi possível estabelecer algumas relações entre essas variáveis.

A maior média da temperatura do ar ( $32,2^{\circ}\text{C}$ ) foi encontrada na sessão montante do reservatório, no campo 3 (11/01/2018), realizada no verão. Nesse mesmo período de coleta de dados também ocorreu a maior diferença entre as temperaturas ( $6,8^{\circ}\text{C}$ ) da sessão montante com as temperaturas registradas na sessão jusante do reservatório. A diferença de temperatura do ar entre os setores da área de estudo foi bastante relevante, sendo que identificado diferenças nos dados em todas as missões de campo. Durante o campo 1 (07/08/2015), a média da temperatura do ar foi maior na sessão jusante do que na sessão montante do reservatório.

Quanto a variável limnológica temperatura da água, a maior média de temperatura ( $23,4^{\circ}\text{C}$ ) também foi encontrada na sessão montante do reservatório, no campo 3 (11/01/2018), realizada no verão. Nesse mesmo período de coleta de dados também ocorreu a maior diferença entre as temperaturas ( $2,2^{\circ}\text{C}$ ) da sessão montante com as temperaturas registradas na sessão jusante do reservatório. Mesmo que essa diferença de temperatura da água entre os setores da área de estudo não tenha sido tão relevante assim quanto a temperatura do ar, também foi identificado diferenças nos dados em todas as missões de campo. Durante os campos 1 e 2, a média da temperatura da água foi maior na sessão jusante do que na sessão montante do reservatório.

A condutividade elétrica e os totais de sólidos dissolvidos ( $78,4\mu\text{S}$   $45,6\text{mg.L}^{-1}$ , respectivamente) apresentaram suas maiores médias também durante o campo 3 (11/01/2018), realizado no verão. Nesse mesmo período de coleta de dados também ocorreu a maior diferença entre as médias de condutividade e os totais de sólidos dissolvidos ( $20,9\mu\text{S}$  e  $12,6\text{mg.L}^{-1}$ , respectivamente) da sessão montante em relação aos dados registrados na sessão jusante do reservatório. A diferença nos dados destas duas variáveis limnológicas entre os setores da área de estudo foi bastante relevante, pois foi identificado diferenças nos dados em todas as missões

de campo. Também foi identificado que em todas as missões de campo, a média dos dados de condutividade e os totais de sólidos dissolvidos registrados na sessão montante foram maiores do que os registrados na sessão jusante do reservatório.

Já os valores médios do pH apresentaram pouca oscilação entre as sessões montante e jusante do reservatório. O maior valor médio de pH (7,2) foi registrado nas três últimas missões de campo, enquanto que a maior diferença dos dados em cada sessão foi registrada no campo 2 (20/11/2015), com apenas 0,2. Durante o campo 2 e 4, durante a primavera e o outono, a média do pH foi levemente maior na sessão jusante do que na sessão montante do reservatório, enquanto que no inverno e no verão, não houve diferenças significativas no pH da sessão montante em relação aos dados da sessão jusante do reservatório.

Quanto as variáveis limnológicas turbidez e totais de sólidos em suspensão, as maiores médias foram registradas na sessão montante do reservatório (20,2NTU e 14,2mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente), no campo 3 (11/01/2018), realizado no verão. Nesse mesmo período de coleta de dados também ocorreu a maior diferença entre os valores registrados de TSS (4,5mg.L<sup>-1</sup>), enquanto que a maior diferença entre as médias dos dados de turbidez (10,6NTU) foram registradas no campo 2 (20/11/2015), durante a primavera, fato esse possivelmente associado aos elevados índices pluviométricos ocorridos no mesmo período. Somente no campo 3 (11/01/2018), realizado durante o verão que a média dos dados de turbidez e totais de sólidos em suspensão foi maior na sessão jusante do que na sessão montante do reservatório, e nas outras três missões de campo, os valores médios dos dados da sessão montante foi maior do que os valores médios registrados na sessão jusante.

Por fim a variável limnológica potássio, a qual apresentou as maiores médias (7,7mg.L<sup>-1</sup>) também no campo 3 (11/01/2018), durante o verão, na sessão jusante. No entanto a maior diferença nos dados de potássio (1,3mg.L<sup>-1</sup>) entre as duas sessões foi registrada durante a missão do campo 4 (07/05/2018), realizada no outono, possivelmente associado ao período de transição agrícola que é bastante intenso na região da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Nas três primeiras missões de campo os valores das médias da sessão montante foram menores do que os valores médios dos dados apresentados na sessão jusante do reservatório e somente no campo 4 (07/05/2018), durante o verão, esse cenário se inverteu.

TABELA 8 – Comparação entre as variáveis limnológicas entre as sessões montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, campo 1 (07/08/2015).

Classes	Tem_Ar (°C)	Temp_Agua (°C)	CE (µS)	TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Turbidez (NTU)	TSS (mg.L <sup>-1</sup> )	Potássio (mg.L <sup>-1</sup> )
Média na Sessão Montante	24,5	18,1	49,3	25,7	6,9	10,6	9,8	3,8
Média na Sessão Jusante	28,0	18,4	42,0	22,3	6,9	4,6	9,2	4,2
<b>Diferença das médias</b>	-3,5	-0,2	7,3	3,3	0,0	6,0	0,6	-0,6

TABELA 9 – Comparação entre as variáveis limnológicas entre as sessões montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, campo 2 (20/11/2015).

Classes	Tem_Ar (°C)	Temp_Agua (°C)	CE (µS)	TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Turbidez (NTU)	TSS (mg.L <sup>-1</sup> )	Potássio (mg.L <sup>-1</sup> )
Média na Sessão Montante	21,3	18,7	54,2	22,7	7,0	20,2	14,2	3,6
Média na Sessão Jusante	19,0	20,9	41,7	15,7	7,2	9,6	11,0	3,7
<b>Diferença das médias</b>	2,3	-2,2	12,5	7,0	-0,2	10,6	3,2	-0,1

TABELA 10 – Comparação entre as variáveis limnológicas entre as sessões montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, campo 3 (11/01/2018).

Classes	Tem_Ar (°C)	Temp_Agua (°C)	CE (µS)	TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Turbidez (NTU)	TSS (mg.L <sup>-1</sup> )	Potássio (mg.L <sup>-1</sup> )
Média na Sessão Montante	32,2	23,4	78,4	45,6	7,2	6,2	6,5	7,1
Média na Sessão Jusante	25,4	22,0	57,5	33,0	7,2	8,0	11,0	7,7
<b>Diferença das médias</b>	6,8	1,5	20,9	12,6	0,0	-1,8	-4,5	-0,6

TABELA 11 – Comparação entre as variáveis limnológicas entre as sessões montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, campo 4 (07/05/2018).

<b>Classes</b>	<b>Tem_Ar (°C)</b>	<b>Temp_Agua (°C)</b>	<b>CE (<math>\mu</math>S)</b>	<b>TDS (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>TSS (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Potássio (mg.L<sup>-1</sup>)</b>
Média na Sessão Montante	27,9	22,0	68,4	39,8	7,1	7,8	8,6	4,3
Média na Sessão Jusante	21,9	21,5	54,5	30,2	7,2	2,9	6,5	3,0
<b>Diferença das médias</b>	6,0	0,5	13,9	9,6	-0,1	4,9	2,1	1,3

Onde:

Temp\_Ar – temperatura do ar;

Temp\_Água – temperatura da água;

CE – Condutividade elétrica;

TDS – Totais de sólidos dissolvidos;

pH – Potencial Hidrogeniônico;

Turbidez – Turbidez;

TSS - totais de sólidos em suspensão;

Potássio – Potássio;

#### 4.5 ANÁLISE INTEGRADA ENTRE O AMBIENTE TERRESTRE E O AMBIENTE AQUÁTICO, E O PAPEL DO RESERVATÓRIO

Nesta pesquisa foi levado em consideração a análise dos dados de relevo, a análise dos dados de uso da terra, a análise do comportamento das variáveis limnológicas das drenagens da sessão montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, a análise dos dados pluviométricos, considerando trinta dias de precipitação pluviométrica acumulada antecedentes as missões de campo e a análise estatística dos dados limnológicos obtidos a partir dos processamentos das amostras da bacia hidrográfica estudada.

A pesquisa teve como área de estudo a bacia hidrográfica do reservatório Rodolfo Costa e Silva situado no rio Ibicuí-mirim, localizado na região Central do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. Geograficamente, a área de estudo pertence a uma parte do relevo do Planalto, Depressão Periférica Sul-rio-grandense. O comprimento total das drenagens é de aproximadamente 210 quilômetros, considerando todos os tipos de rios perenes, independentemente de sua vasão. A área de estudo encontra-se em uma região de clima subtropical, com temperatura média anual moderada e boa precipitação média anual que geralmente está bem distribuída ao longo do ano, com boa média de umidade relativa anual.

A análise da geomorfologia da região identificou que as nascentes do rio principal da bacia hidrográfica estão em uma altitude em torno de 500 metros, tendo como ponto mais alto 516 metros de altitude; e sua foz, altitude de 80 metros, local onde recebe o rio Toropi como afluente. A área está localizada no planalto do sul-riograndense, onde as características da estrutura basáltica se refletem no tipo de solo avermelhado, predominantemente formado por solos do tipo Argissolos. A geologia da área de pesquisa identificou que a bacia hidrográfica está situada a maior parte de sua área da Sequência Superior da Formação Serra Geral, englobando toda a porção a montante do reservatório e uma pequena parte a jusante do reservatório está composta pela Formação Botucatu, sessão essa a qual está inserida a reserva ambiental Ibicui-Mirim.

Quanto ao tipo de vegetação predominante na área de estudo, contatou-se que devido a exploração econômica da área, a vegetação natural encontra-se muito modificada, com o cultivo de gramíneas para pastagens e a implantação de lavouras até mesmo nas áreas de encosta abrupta é do tipo campos, tendo também a presença de floresta, principalmente no rebordo do planalto Meridional, além das matas ciliares que ocorrem ao longo dos rios. As formações florestais são do tipo floresta Subtropical, latifoliada de espécies semi-caducifolias, encontrada no rebordo do planalto, ao longo dos vales, em regiões de grande declividade, compreendendo

formações montanas e submontanas, entremeadas de subarbustos isolados e formações especiais correspondentes às matas de galeria e vegetação ribeirinha.

A atividade econômica predominante na bacia é a agropecuária, representado por cultivos anuais, principalmente da soja e pastagens, com pequenas áreas de vegetação arbórea a jusante do reservatório e matas ciliares principalmente nas drenagens a montante do reservatório. Bem na porção central da área de estudo está localizado o reservatório Rodolfo Costa e Silva, o qual é utilizado para abastecer parcialmente a cidade de Santa Maria, com uma população urbana de aproximadamente 250.000 habitantes. O sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário da área urbana da cidade de Santa Maria é operado pela CORSAN – Companhia Rio-grandense de Saneamento.

Nesse sentido, buscou-se analisar alguns mapas temáticos sobre o relevo da região de pesquisa com o intuito de encontrar subsídios para entender melhor a dinâmica de integração entre os ambientes terrestres e aquáticos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Com isso, a pesquisa objetivou-se a entender a influência da construção de um reservatório na dinâmica natural de variáveis limnológicas no decorrer de suas drenagens e suas prováveis consequências.

A análise do mapa clinográfico identificou que a bacia hidrográfica da presente pesquisa possui a maior parte de seu território com declividades de 0 a 5%, o qual compreende 5.762,80ha, isso corresponde aproximadamente 41,85% das classes temáticas analisadas e aparece nas áreas localizadas ao centro-norte e nordeste, e compreende áreas com pequenas restrições em relação ao uso e ocupação. Com o mapa de orientação de vertentes identificou-se que a classe temática de orientação Oeste é a que possui maior representatividade, compreende 4.086,66ha, a qual representa 29,68% das classes temáticas analisadas e aparece também com certa uniformidade em quase toda a área analisada. Com o mapa hipsométrico verificou-se que a classe hipsométrica de maior representatividade é a de 402 a 462 metros, a qual abrange 5.839,99ha e corresponde a 42,41% da área total. E com os mapas de uso da terra constatou-se que as porções norte e nordeste da bacia hidrográfica, principalmente a montante do reservatório há intensas atividades agrícolas que em geral provocam a eliminação da cobertura vegetal natural e promovem o desencadeamento de processos de erosão acelerada dos solos e modificam as propriedades químicas, físicas e biológicas do ambiente aquático a qual está inserida.

Utilizando produtos digitais do sistema de satélite Resourcesat 2 e do Sentinel 2 foram realizados os processamentos nas imagens orbitais referentes às quatro missões de campo na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Os mapas de uso da terra, relacionados as quatro missões de campo desta pesquisa, identificaram que a área da bacia hidrográfica apresenta entre 42% e 48% de atividades agrícolas, mais intensas nas porções a montante do reservatório, considerando o



fluxo natural das drenagens. O segundo maior uso da terra encontrado na área de estudo foi a cobertura florestal, variando de 25 a 35% da área total da bacia hidrográfica, localizadas principalmente na sessão jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, onde há a presença da reserva ambiental Ibicui-Mirim, a qual foi criada porque é um importante banco genético de flora e fauna, possibilitando, no futuro, a execução de programas de repovoamento da área com animais e o uso de sementes e mudas, tanto para reflorestamento, como para pesquisas de melhoramento de espécies já adaptadas ao nosso meio, além de que as reservas biológicas se destinam a atender a finalidades previstas na Convenção para Proteção da Flora, da Fauna e das Belezas Naturais dos Países da América, aprovada em decreto legislativo federal. A área abrangida por este Decreto, com seus acidentes paisagísticos, sua flora, fauna e mananciais hídricos, ficará sujeita ao regime especial de proteção previsto pelas leis vigentes, ficando as atividades de pesquisa científica condicionadas à observância, pelos órgãos estaduais, dos regulamentos, portarias e demais diplomas expedidos pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal.

A análise de variáveis limnológicas em estudos que envolvem ambientes aquáticos e terrestres é de fundamental importância a análise de dados temperatura, por exemplo, pois ela é variável, no tempo e no espaço, e esta alteração diária também ocorre ao longo do ano com certa normalidade e fazem parte do regime climático. Este dado climático pode sofrer alterações por vários fatores como pela radiação solar, altitude, latitude, massas de ar, pelo aquecimento diferencial da terra e da água. Foi verificado que praticamente em todas as datas de coletas ocorreram alterações nos dados limnológicos, provavelmente relacionado a mudança do ambiente lótico para o ambiente lêntico e novamente para o ambiente lótico, ao qual proporciona diferentes intensidades de radiação solar elevando as temperaturas superficiais da água e abastecimento de novas drenagens no fluxo principal da bacia hidrográfica. Isso faz com que novas cargas de sedimentos sejam carregadas para a sessão jusante, modificando também os dados limnológicos. Logo na sequência da drenagem a jusante do reservatório, há tendência de estabilidade em todos os dados limnológicos. Isto também pode estar relacionado ao fato de que a região a jusante do reservatório pertence à reserva biológica Ibicui-Mirim. Também, as análises estatísticas dos dados limnológicos comprovaram a existência de relações quando há um ambiente lótico interseccionado por ambiente lêntico, pois modificou o comportamento dos dados, com tendência à maior estabilidade após o ambiente lêntico, exceto o potencial hidrogeniônico, o qual modificou apenas localmente, logo após o barramento artificial de água, logo em seguida, mas na sequência do fluxo da drenagem a jusante, tende a comportamento semelhante como na sessão a montante do reservatório.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese estabelecida nesta pesquisa teve o intuito de entender o que modifica na dinâmica de variáveis limnológicas das drenagens de uma bacia hidrográfica com a construção de um ambiente lântico. A hipótese é que a inserção de um ambiente lântico numa drenagem modifica a dinâmica natural das variáveis limnológicas do ecossistema local, tornando diferentes os dados de jusante em relação aos de montante do reservatório.

Com as análises das espacializações dos mapas temáticos, dados pluviométricos, dados limnológicos e das análises estatísticas foi possível observar que o reservatório possui grande contribuição para a tendência de estabilidade dos parâmetros analisados nesta pesquisa.

Nesse sentido, o objetivo geral desta pesquisa foi analisar a influência do reservatório Rodolfo Costa e Silva no sistema hídrico do alto curso do rio Ibicuí-Mirim. Como objetivos específicos foram propostos:

*- Analisar em escala espacial e temporal as variáveis limnológicas temperatura do ar, temperatura da água, Condutividade Elétrica, Totais de Sólidos Dissolvidos, Potencial Hidrogeniônico, Turbidez, Total de Sólidos em Suspensão e Potássio das drenagens do reservatório Rodolfo Costa e Silva;*

Na análise dos dados das variáveis limnológicas da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva foi verificado que praticamente em todas as datas de coletas ocorreram alterações nos dados limnológicos, provavelmente relacionado a mudança do ambiente lótico para o ambiente lântico e novamente para o ambiente lótico, ao qual proporciona diferentes intensidades de radiação solar elevando as temperaturas superficiais da água e abastecimento de novas drenagens no fluxo principal da bacia hidrográfica. Isso faz com que novas cargas de sedimentos sejam carreadas para a sessão jusante, modificando também os dados limnológicos. No entanto, logo na sequência da drenagem a jusante do reservatório, observa-se uma certa tendência de estabilidade em todos os dados limnológicos analisados nesta pesquisa. Isto também pode estar relacionado ao fato de que a região a jusante do reservatório pertence à reserva biológica Ibicuí-Mirim, local onde há maior preservação da vegetação nativa nas proximidades das drenagens. Sendo assim, a existência de um ambiente lótico interseccionado por ambiente lântico modificou o comportamento dos todos dados, com tendência à maior estabilidade após o ambiente lântico, exceto o potencial hidrogeniônico, o qual modificou apenas localmente, logo após o barramento artificial de água. A partir da sessão jusante, após o ambiente lântico, considerando como início do sentido hídrico a região das nascentes, os dados apresentaram mais estabilidade no ambiente aquático, dando a entender que ao construir uma

barreira artificial para retenção de água em reservatórios há interferência no comportamento das variáveis limnológicas.

*- Identificar as relações e correlações das variáveis limnológicas nas drenagens do reservatório com as características de relevo e hidrografia da área de captação, de acordo com as suas condições do uso da terra e dados pluviométricos da bacia hidrográfica que o drena;*

A análise do relevo da área de estudo teve como maior representatividade as áreas com baixas inclinações, principalmente nas porções norte e nordeste. Estas áreas coincidem com a maior intensidade de práticas agrícolas realizadas na área de pesquisa. Na análise do mapa de orientação de vertentes constatou-se que a maior quantidade de inclinações da área de pesquisa está com a face voltada para o lado oeste, principalmente nos setores norte e nordeste, onde há maior atividade agrícola. A hipsometria analisada nesta pesquisa demonstrou que as áreas mais elevadas da bacia hidrográfica também se encontram nas porções norte e nordeste, com colinas suavemente onduladas e nas porções mais ao sul estão áreas com as maiores oscilações do relevo, com as menores altitudes, região esta que se encontra a reserva ambiental do Ibicui-Mirim, onde há maior preservação da floresta nativa. Quanto ao uso da terra na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva verificamos que em todas elas foi constatado uma intensa atividade agrícola na sessão a montante do reservatório e área de preservação na sessão jusante do reservatório, com pequenas quantidades de matas-galerias nas proximidades de praticamente todas as drenagens, mais intensas na sessão jusante e mais devastadas na sessão montante, onde há maior prática agrícola, principalmente de soja, milho, trigo e pastagens.

As análises dos dados pluviométricos desta pesquisa apresentaram variação durante o período hidrológico analisado. As maiores médias de precipitação pluviométrica diária foram registradas durante as missões de campo 1 (07/08/2015) e 2. As precipitações verificadas foram referentes ao total acumulado em trinta dias antecedentes as datas de coletas na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e demonstraram as diferenças dos fenômenos de chuva ocorridos na área, com isso, o sistema terrestre disponibilizou maior carreamento de sedimentos nesses períodos para as redes de drenagem.

Em relação as análises dos dados obtidos a partir das coletas das variáveis limnológicas da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva podemos perceber que as correlações mais significativas ocorreram entre a temperatura do ar e a turbidez, entre a temperatura da água e o pH, entre a condutividade elétrica e os totais de sólidos dissolvidos e entre a condutividade elétrica e o potássio, no campo 1, realizado durante o inverno. Também foram encontradas correlações significativas entre os dados de temperatura da água e condutividade elétrica, entre

a temperatura da água e os totais de sólidos dissolvidos e entre condutividade elétrica e os totais de sólidos dissolvidos, no campo 2, realizado durante a primavera. Outras correlações significativas também foram verificadas entre os dados de temperatura do ar e condutividade elétrica, os totais de sólidos dissolvidos e os totais de sólidos em suspensão, entre a condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos, entre a condutividade elétrica e os sólidos suspensos, entre os sólidos dissolvidos e os sólidos suspensos e entre o potencial hidrogeniônico e a turbidez, no campo 3 (11/01/2018), durante o verão. E por último também foram encontradas fortes correlações entre os dados de temperatura do ar e os totais de sólidos dissolvidos, entre a temperatura do ar e os totais de sólidos suspensos, entre a temperatura do ar e a turbidez e entre a condutividade elétrica e os totais de sólidos dissolvidos, no campo 4 (07/05/2018), durante o outono. A maior quantidade de correlações mais significativas entre os dados limnológicos da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva foram diagnosticadas na missão de coletas de dados da terceira missão de campo, realizada no verão. Provavelmente esta situação ocorreu devido a época de transição agrícola que é mais intensa em quase toda a bacia hidrográfica de desenvolvimento desta pesquisa.

*- Relacionar os dados limnológicos a jusante com os dados de montante do reservatório, com intuito de compreender a interferência do ambiente lântico no ecossistema lótico do rio Ibicuí-Mirim.*

Para a comparação entre os dados das variáveis limnológicas a jusante com os dados de montante do reservatório usou-se valores estatisticamente significativos com um erro médio de 0,05% correspondente a um nível de significância  $\alpha = 95\%$ , conforme os valores críticos da distribuição apresentados na tabela *t* de Student. Conforme descrito por Callegari-Jacques (2003), neste teste, quando o valor do *t* calculado a partir do dado de correlação encontrado entre duas variáveis é maior que o valor encontrado na tabela *t* Student, pode-se afirmar que a correlação entre os dados é estatisticamente significativa.

A hipótese que buscou-se testar nesse caso foi verificar se o grupo de variáveis limnológicas analisadas nesta pesquisa, extraídas da sessão montante do reservatório da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva eram estatisticamente iguais ao grupo de variáveis limnológicas da sessão jusante do reservatório. Com os dados amostrais obtidos nas missões de campo e a determinação dos valores médios das amostras em cada sessão, foi possível estabelecer algumas relações entre essas variáveis.

Em geral, na comparação das variáveis limnológicas da bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva das sessões montante e jusante do reservatório podemos definir que a inserção de um ambiente lântico entre dois ambientes lóticos modificou os dados de todas as variáveis

limnológicas consideradas nessa pesquisa, exceto para a variável limnológica pH, o qual não demonstrou diferença significativa de uma sessão para outra. Podemos observar um leve aumento nos dados limnológicos do pH da sessão jusante em relação aos dados da sessão montante do reservatório. As variáveis limnológicas temperatura do ar, temperatura da água e potássio apresentaram menores valores nos dados da sessão jusante em relação aos dados da sessão montante do reservatório. As variáveis limnológicas temperatura da água, potencial hidrogeniônico e potássio apresentaram menores valores nos dados da sessão jusante em relação aos dados da sessão montante do reservatório. As variáveis limnológicas turbidez, totais de sólidos em suspensão e potássio apresentaram menores valores nos dados da sessão jusante em relação aos dados da sessão montante do reservatório. Todas as demais variáveis limnológicas apresentaram redução dos valores médios nos dados obtidos nas amostras da sessão jusante em relação aos dados coletados na sessão montante do reservatório.

*- Analisar integralmente o ambiente terrestre e o ambiente aquático para entender as alterações nas características da água decorrentes da construção de um reservatório.*

Nesta parte da pesquisa, o intuito principal foi integrar a análise dos dados de relevo, a análise dos dados de uso da terra, a análise do comportamento das variáveis limnológicas das drenagens da sessão montante e jusante do reservatório Rodolfo Costa e Silva, a análise dos dados pluviométricos acumulados por períodos antecedentes as missões de campo e a análise estatística dos dados limnológicos obtidos a partir dos processamentos das amostras da bacia hidrográfica estudada.

Verificou-se que a área de estudo pertence a uma parte do relevo do Planalto, Depressão Periférica Sul-rio-grandense, com drenagens de aproximadamente 210 quilômetros, considerando todos os tipos de rios perenes, independentemente de sua vazão e encontra-se em uma região de clima subtropical, com temperatura média anual moderada e boa precipitação média anual que geralmente está bem distribuída ao longo do ano, com boa média de umidade relativa anual.

A análise da geomorfologia da região identificou que as nascentes do rio principal da bacia hidrográfica estão em uma altitude em torno de 500 metros. A área está localizada no planalto do sul-riograndense, onde as características da estrutura basáltica se refletem no tipo de solo avermelhado. A geologia da área de pesquisa identificou que a bacia hidrográfica está situada a maior parte de sua área da Sequência Superior da Formação Serra Geral, englobando toda a porção a montante do reservatório e uma pequena parte a jusante do reservatório está composta pela Formação Botucatu, sessão essa a qual está inserida a reserva ambiental Ibicui-Mirim.

A vegetação predominante na área de estudo encontra-se muito modificada, com o cultivo de gramíneas para pastagens e a implantação de lavouras até mesmo nas áreas de encosta abrupta é do tipo campos, tendo também a presença de floresta, principalmente no rebordo do planalto Meridional, além das matas ciliares que ocorrem ao longo dos rios. As formações florestais são do tipo floresta Subtropical, latifoliada de espécies semi-caducifolias e formações especiais correspondentes às matas de galeria e vegetação ribeirinha.

Observou-se que a atividade econômica predominante na bacia é a agropecuária, representado por cultivos anuais, principalmente da soja, milho, trigo e pastagens, com pequenas áreas de vegetação arbórea a jusante do reservatório e matas ciliares principalmente nas drenagens a montante do reservatório. O reservatório Rodolfo Costa e Silva é utilizado para abastecer parcialmente a cidade de Santa Maria, com uma população urbana de aproximadamente 250.000 habitantes. O sistema de abastecimento de água e de esgotamento sanitário da área urbana da cidade de Santa Maria é operado pela CORSAN – Companhia Rio-grandense de Saneamento.

Os mapas de relevo identificaram as características físicas da área de estudo. Nesse caso, o principal destaque foi mapa clinográfico identificou que a bacia hidrográfica da presente pesquisa possui a maior parte de seu território com declividades de 0 a 5%, aproximadamente 41,85% das classes temáticas analisadas e aparece nas áreas localizadas ao centro-norte e nordeste, e compreende áreas com pequenas restrições em relação ao uso e ocupação. Foram utilizados produtos digitais do sistema de satélite Resourcesat 2 e do Sentinel 2 para os processamentos nas imagens orbitais referentes às quatro missões de campo na bacia hidrográfica Rodolfo Costa e Silva. Os mapas de uso da terra, relacionados as quatro missões de campo desta pesquisa, identificaram que a área da bacia hidrográfica apresenta a maior parte de seu uso em atividades agrícolas, as quais estão mais concentradas nas porções a montante do reservatório.

Com as análises das variáveis limnológicas foi verificado que praticamente em todas as datas de coletas ocorreram alterações nos dados limnológicos, provavelmente relacionado a mudança do ambiente lótico para o ambiente lêntico e novamente para o ambiente lótico, ao qual proporciona diferentes intensidades de radiação solar elevando as temperaturas superficiais da água e abastecimento de novas drenagens no fluxo principal da bacia hidrográfica. Isso faz com que novas cargas de sedimentos sejam carreadas para a sessão jusante, modificando também os dados limnológicos. Também foi observado nesta pesquisa que logo na sequência da drenagem a jusante do reservatório, há tendência de estabilidade em todos os dados limnológicos. Isto também pode estar relacionado ao fato de que a região a jusante do reservatório pertence à reserva biológica Ibicui-Mirim. Por fim, as análises dos dados

de relevo, de pluviometria, das variáveis limnológicas e estatísticas dos dados limnológicos comprovaram a existência de relações quando há um ambiente lótico interseccionado por ambiente lêntico, pois modificou o comportamento dos dados, com tendência à maior estabilidade após o ambiente lêntico, exceto o potencial hidrogeniônico, o qual modificou apenas localmente, logo após o barramento artificial de água, logo em seguida, mas na sequência do fluxo da drenagem a jusante, tende a comportamento semelhante como na sessão a montante do reservatório. Dessa forma, também foi possível estabelecer que a construção de um reservatório para armazenamento de água produz um efeito positivo, pois contribuiu para maior estabilidade nos dados limnológicos verificados nesta pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALBERTI, E. A. **Influência do ambiente rural e urbano em variáveis limnológicas na microbacia hidrográfica do Arroio Alberti – RS**. Especialização (Especialização em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- ALCÂNTARA, E. H. **Sensoriamento remoto da temperatura e dos fluxos de calor na superfície da água do reservatório de Itumbiara (GO)**. Tese de doutorado. São Jose dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2010.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. **Fundamentos de Biologia Moderna**. São Paulo: Moderna. 2ed. 1997. p. 229-234.
- AMARAL, S. **Imagens do sistema sensor AVHRR/NOAA na detecção e avaliação de desmatamentos na Floresta Amazônica: relações com dados do sistema TM/Landsat**. Dissertação de mestrado. São Jose dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.
- AMBERS, R. K. R. **Using the sediment record in a western Oregon flood-control reservoir to assess the influence of storm history and logging on sediment yield**. Journal of Hydrology, v. 244, n. 3-4, p. 181 – 200, 2001.
- ANDERSON, C. W. Turbidity 6.7. Version 2.1 (dated 9/2005). Disponível em: <[http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/Section6.7\\_v2.1.pdf](http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/Section6.7_v2.1.pdf)>. Acesso em: 05 jan. 2017.
- ANDRADE, M.C. de. **Geografia, ciência da sociedade: uma introdução a análise do pensamento geográfico**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1992.
- ANGELINI, R. Bases para a aplicação da teoria da informação em ecossistemas, com ênfase na ascendência. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 2, p. 275-283, 2002.
- ARAÚJO, A. L. C. et al. **Monitoramento das águas do rio Mossoró/RN, no período de abril/2005 a julho/2006**. Holos, Rio Grande do Norte, 2007.
- ARCGIS On-line - **Mapas interativos conectando pessoas, locais e dados**. Disponível em: <<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=7091d94e51124803b9ee7e23d56c7b10>>. Acesso em: 16 set. 2018.
- BABBITT, H. E.; DOLAND, J. J.; CLEASBY, J. L. **Abastecimento de água**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.
- BAPTISTA, M; COELHO, M. M. L. P.; CIRILO, J. A. (Org.). **Hidráulica aplicada**. Porto Alegre: ABRH, 2001.
- BARBIERI, D. W.; **Influência da Precipitação Pluviométrica na Reflectância Espectral da Água do Reservatório Passo Real, RS**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- BLASCHKE, T. & KUX H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.



BRAGA, C. Z. F.; NOVO, E. M. L. M.; KRUG, T. Considerações sobre a modelagem empírica de variáveis limnológicas no Reservatório de Barra Bonita utilizando dados Landsat-5 TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7. (SBSR), 1993, Curitiba, BR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. v. 4, p. 85-93. Printed, On-line. (INPE-7914-PRE/3750). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.00.54.37>>. Acesso em: 05 nov. de 2012.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Edgard Blücher, CETESB, 1977.

BREUNIG, F. M. **Características limnológicas e espectral do reservatório de água da CORSAN, Itaara/Júlio de Castilhos, RS**. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2006.

BREUNIG, F., M. WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W.; PRADO, B.R. **Caracterização limnológica do reservatório Rodolfo Costa E Silva – Itaara/RS-Brasil**. Revista Geografia acadêmica. V. 5 n. 1. 2011.

BURROUGH, P. A. & MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1998, 333p.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

CARVALHO, N. O. Assoreamento de reservatórios: consequências e mitigação dos efeitos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 4, 2000, Santa Maria, **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2000.

CASSOL, A. P. V. Características limnológicas de compartimentos aquáticos opticamente ativos no reservatório Itaúba, RS, Brasil. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 3857 - 3864.

CEEE/ Dona Francisca Energética S. A. (DFESA)/ Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Estado da Participação Popular, Secretaria de Energia, Minas e Comunicações. **Usina Hidrelétrica Dona Francisca – 125 MW**. Folheto Informativo, 2001.

CERETTA, M. C. **Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena: município de Santa Maria - RS**. 2004. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo: CETESB, 1987.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das**

**águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** São Paulo: CETESB, 2009. 44 p. (série relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

CHAGAS, D. S. **Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico.** 2015. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **A análise de sistemas em geografia.** São Paulo: Hucitec, 1980.

CRISTOFOLETTI, A. MARETTI, E. TEIXEIRA, A. L. A. **Introdução aos Sistemas de Informação.** Rio Claro. Edição do autor, 1992.

CORAZZA, R. **Relações Entre Variáveis Espectrais e Limnológicas no Reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca-RS.** 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A.J.T. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

CURRAN, P. J. **Principles of remote sensing.** New York: Longman Scientific & Technical, 1986.

CURTIS, Helena. **Biologia.** Ed. Guanabara. Segunda edição. Rio de Janeiro. 1977.

DEBERDT, A. J. **Qualidade de água.** Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/biologia/prociencias/qagua.htm>> Acesso em 09 abr 2013.

DANTAS, E. M.; & MORAES, I. R. D. **Organização do espaço.** Natal: EDUFERN, Rio Grande do Norte. 2012.

DE BIASI, M. et al. **Cartas de orientação de vertentes: confecção e utilização.** *Cartografia*, São Paulo, 1977.

DE FELIPPO, R. et al. **As alterações na qualidade da água durante o enchimento do reservatório de UHE Serra da Mesa-GO.** In: HENRY, R. Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu: FUNDIBIO, 1999. p. 321-346.

DEMANGEON, Jean. **Os Meios “Naturais” do Globo.** Tradução de F. Ribeiro Martins e H. Nogueira Santos. Tradução do original francês intitulado Lês Milleux “Naturels” du Globo. 7ª ed. Paris – Armand Colin Éditeur, 2000.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

EMBRAPA, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Disponível em <[https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao\\_irs.html](https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_irs.html)>. Acesso em: 05 set 2018.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da USP. **Parâmetros e indicadores de qualidade de água.**

Disponível em < [pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=1123](http://pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=1123)>. Acesso em: 21 set. 2018.

ESA – **Agência Espacial Europeia**. Disponível em < <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-2>>. Acesso em: 05 set. 2018.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

\_\_\_\_\_. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro, Interciência/FINEP. 1988.

\_\_\_\_\_. **Considerações históricas sobre a ciência da limnologia**. In: Coord. Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FARENZENA, D. **Organização do espaço e conflitos ambientais do entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Dona Francisca – RS**. 2006. 72f. Monografia (Trabalho de Graduação B) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

Felix, I. M., Kazmierczak, M. L., Espindola G. M., 2009. RapidEye: a nova geração de satélite de Observação da Terra. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7619-7622.

FERREIRA, G. L. B. V. & FERREIRA, N. B. V. **Fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos**. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de Novembro de 2006.

FIBGE. **Levantamento dos recursos naturais volume 33**: Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das Folhas SH 21 Uruguaiana e SI 22 Lagoa Mirim. Projeto RadamBrasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.

FORD, D. E. Reservoir transport processes. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E.. **Reservoir Limnology: Ecological perspectives**. JohnWiley & Sons: New York, 1990.

FRINTZONS, E.; HIND, E. C.; MANTOVANI, L. E.; RIZZI, N. E. As alterações da qualidade da água do Rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.8, p.239- 248, 2003.

FRONTIER, Serge. **Os ecossistemas**. Instituto Piaget, 2001.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL – RS. **Qualidade Ambiental: Região Hidrográfica do Guaíba - Rio Jacuí**. 2008. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/jacui.asp>>. Acesso em: 25 abril. 2013.

GALVAO, L. S. **Espectros e Imagens**. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. (Org.). **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. Brasília: ed. UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001, p. 251-262. 2001.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B; **Geomorfologia e Meio Ambiente**, Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ. 1998.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R.G.M. (org.) **Erosão e Conservação do Solo: conceitos temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

HORIBA. *Multiparameter Water Quality Checker - U-50*. Disponível em <<http://www.horiba.com/br/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/field/details/u-50-multiparameter-water-quality-checker-368/>>. Acesso em: 07 fev 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/usodaterra/manualusodaterra.pdf>> Acesso em: 09 de nov. de 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados Meteorológicos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 21 set. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - DIVISÃO DE GERAÇÃO DE IMAGENS (INPE/DGI). **O satélite LANDSAT**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/html/landsat.htm>>. Acesso em 17 nov. 2015.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Temperatura da água**. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/tem.htm>>. Acesso em 21 set. 2018.

JOBIN, W. **Sustainable Management for Dams and Waters**. Boston: Lewis Publishers, 1998.

JOLY, F. **A Cartografia**. Campinas: Papirus, 1997.

KÂMPF, N. et al. **Metodologia para classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais decorrentes da disposição final de resíduos**. Fepam em Revista, Porto Alegre, v. 2, n.1, p.11-17, 2008.

KELMAN, J. et al. **Hidreletricidade**. In: REBOUÇAS, A. da C; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 1999.

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

LAHM, R. A. Noções Básicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. *In*: VERDUM, R. & STROHAECKER, T. **Desenvolvimento Regional, turismo e educação ambiental**. Porto Alegre: Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2000.

LENCASTRE, A. & FRANCO, F. M. **Lições de Hidrologia**. Universidade Nova de Lisboa, 1984.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN D. **Estatística: Teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000.

LI, Z.L.; BECKER, F.; STOLL, M.P.; WAN, Z. Evaluation of Six Methods for Extracting Relative Emissivity Spectra from Thermal Infrared Images. **Remote Sensing of Environment**, v. 69, p.197- 214,1999.

LIBÂNEO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3 Ed. Campinas-SP: Editora Átomo, 2010.

LONDE, L. R.; NOVO, E. M. L. M.; CALIJURI, M. C. Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005. p. 389 - 396.

LOPES, L. H. A.; LOCH, C. **Conteúdo gráfico do cadastro técnico multifinalitário urbano.** In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 1994, Florianópolis. COBRAC. Florianópolis: UFSC, 1992.

LOPES, L. H. A.; LOCH, C.; BAEHR, H. P. **Modelo de Gestão Urbana baseado na Capacidade de Atendimento do Sistema de Abastecimento de Água.** In: 6º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2004, Florianópolis. COBRAC2004. Florianópolis: UFSC, 2004.

MACHADO, P. J. de O. Recursos Hídricos: uso e planejamento. **Geosul**, Florianópolis, ed UFSC. v.16, n.31, jan/jun 2001. p103-115.

MAKSOUH, H. **Definição, Escopo e Aplicações de Hidrologia**, Revista de Engenharia, no 169, 1956, São Paulo e Boletim Geográfico CNG, no 149, Rio de Janeiro, 1959.

MARCHIORI, J. N. C.; NOAL FILHO, V. A. **Santa Maria**: relatos e impressões de viagem. Santa Maria: Editora da UFSM, 1997.

MILLIPORE. **Glass Fiber Filters**. Disponível em: <<http://www.millipore.com>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: Abes, 1997.

NETTO, A. L. C. **Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural –** In.: Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 4, Nº 2. 2003.

NIMER, E., 1989: **Climatologia do Brasil.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ; 421 p.

NORMAN, J. M.; BECKER, F. Terminology in thermal infrared remote sensing of natural surfaces. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.77, p. 153-166, 1995.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008.

OES-INPE – **Observatório Espacial do Sul** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Plataforma de coleta de dados, 2006.

PÁDUA, H. B. **Temperatura da água ou do ar em sistemas aquáticos**. Disponível em <<http://www.abrappesq.com.br/materia2.htm>> Acesso em: 22 set. 2018.

PAIVA, J. B. D. & PAIVA, E. M. C. D. (Org.). **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

PALMIERI, F.; LARACH, J.O.I. Pedologia e Geomorfologia. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S. B. da. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

PEREIRA FILHO, W.; GALVÃO, L. S. **Relações entre reflectância espectral e concentração de sedimentos em suspensão no reservatório Passo Real, região Sul do Brasil**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1997, Mérida, Anais..., Mérida: Selper, 1997.

PEREIRA, G. C. & SILVA, B. C. N. Geoprocessamento e Urbanismo. In: Gerardi, L. H. de O. & Mendes, I. A. M. (orgs). **Teoria, técnica, espaços e atividades: temas de Geografia contemporânea**. Rio Claro: PPGG – UNESP; AGETEO, 2001. 432p.

PEREIRA, R. S. **A estatística e suas aplicações**. Porto Alegre: Grafosul, 1978.

POMPÊO, M.L.M. (ed.). **Perspectivas da Limnologia no Brasil**. São Luís: União, 1999.

PRADO, Diego de A.; SANTOS, F. C.; PEREIRA FILHO, W. **Relação entre Totais de Sólidos em Suspensão e Transparência da Água no Reservatório Dona Francisca - RS**. 2010. In. JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 25., 2010, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (Coffea arabica L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

RENNÓ, C. D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográfica**. 2004. 146 p. (INPE-10437-TDI/925). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.10.13.53>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

ROBINSON, I.S. **Measuring the oceans from space: the principles and methods of satellite oceanography**. Springer. 2004.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Minas Gerais: Ed. do autor, 2000.

ROCHA, C. H. B.; FREITAS, F. A.; SILVA, T. M. Alterações em variáveis limnológicas de manancial de Juiz de Fora devido ao uso da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.431–436, 2014.

RODRIGUES, R.R.; filho, H. de F. L. **Matas Ciliares Conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo. Editora da USP: Fapesp, 2001.320 p.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1996.

ROSS, J.L.S. Geomorfologia Aplicada aos EIAs – RIMAs. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S. B. da. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da Planície Amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrômetro de campo visando à compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. 2006. 140f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

RUHOFF, A. L. et al. **Mapeamentos de Uso da Terra e Ocupação do Espaço Geográfico mm Santa Maria, RS**. Curitiba, n. 7, p. 87-94, 2003. Ed. UFPR. Disponível em: <[http://coralx.ufsm.br/mundogeo/Links/Publicacao\\_arquivos /RAE-2004-22.pdf](http://coralx.ufsm.br/mundogeo/Links/Publicacao_arquivos /RAE-2004-22.pdf)> acesso em: 22 ago. 2017.

RUNDQUIST, D. C. et al. Remote measurement of algal chlorophyll in surface waters: the case for the first derivative of reflectance near 690 nm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 62, n. 2, p. 195-200, 1996.

SANTOS, F. C.; PEREIRA FILHO, W. . **Sensoriamento Remoto aplicado aos estudos de ambientes aquáticos continentais**. In: FIGUEIREDO, Lauro César Figueiredo; FIGUEIRÓ, Adriano Severo. (Org.). Geografia do Rio Grande do Sul: temas em debate. 1 ed. Santa Maria: UFSM, 2010, v. 1, p. 209-222.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SARTORI, M. G. B. A dinâmica do clima no Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**. São Paulo, ano 19, v.1, n.20, p.27-49. jan/jul.2003.

SAYDELLES, A. P., SARTORI, M. G. B. Análise da insolação direta nas vertentes do Bairro Centro da cidade de Santa Maria-RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2007 Santa Maria. *Anais...* Santa Maria. 2007.

SCHAEFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Porto Alegre, Ed. da Universidade, UFRGS. 1985.

SCHWARZBOLD, A. Teorias ecológicas sobre rios. **Ciência & Ambiente**, v. 1, n. 41, p. 05-20, jul./dez. 2010.

STRASSBURGER, L. **Uso da Terra nas Bacias Hidrográficas do Rio do Peixe (SC) e do Rio Pelotas (RS/SC) e a Influência na Limnologia do Reservatório da UHE-ITÁ (RS)**. 2005, 80 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

STRASSBURGUER, L., PEREIRA FILHO, W. Limnologia do reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2003.

SUGUIO, K. & J. J. BIGARELLA. **Ambientes Fluviais**. Florianópolis, UFSC-UFPR. 1990.  
TÁPIA, B. T. **As consequências socioambientais relacionadas a construção da UHE Ita no Município de Marcelino Ramos**. 2004. Trabalho de Graduação (Curso de Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

TEIXEIRA, A. L. de A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Rio Claro: Edição do autor, 1992.

THOMAZ et al. **Limnologia do reservatório do Segredo: padrões de variação espacial e temporal**. In: Reservatório do Segredo: bases ecológicas para o manejo. Editado por AGOSTINO, A. A. & GOMES, L. C. MARINGÁ: EDUEM, 1997.

TODESCHINI, M. L. **Dinâmica espacial e temporal das características físicas e químicas do rio Cubatão e distribuição espacial da bacia hidrográfica – litoral do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

TOMMASI, L. R. **A degradação do Meio Ambiente**. 4 ed. São Paulo: Nobel, 1931.

TONELLO, K. C. **Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1993.

\_\_\_\_\_. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, Ed. Universidade UFRGS, 1998.

TUNDISI, J. G. **Boletim de hidráulica e saneamento: Limnologia de represas artificiais**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 1986 (Boletim; n. 11).

TUNDISI, J. G. et al. Ecossistemas de águas interiores. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006-a, p. 161-202.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

\_\_\_\_\_. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, v.10, p.67-75, 2010.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barra, Miranópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.55-64, 2010.



VIEIRA, E. F.; RANGEL, S. R. S. **Geografia econômica do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Sagra, 1983. 163 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WACHHOLZ, F. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**. 2007. 97f.. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.