

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Desenvolvimento Tecnológico**  
**Curso de Engenharia Hídrica**



**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Levantamento batimétrico do canal São Gonçalo na região do porto de Pelotas**

**George Marino Soares Gonçalves**

**Pelotas, 2017**

**George Marino Soares Gonçalves**

**Levantamento batimétrico do canal São Gonçalo na região do porto de Pelotas**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Hídrica.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares – UFPel

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

G635I Gonçalves, George Marino Soares

Levantamento batimétrico do canal São Gonçalo na região do porto de Pelotas / George Marino Soares Gonçalves ; Gilberto Loguercio Collares, orientador. — Pelotas, 2017.

61 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Hídrica) — Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Batimetria. 2. Canal são gonçalo. 3. Navegação. I. Collares, Gilberto Loguercio, orient. II. Título.

CDD : 627

**George Marino Soares Gonçalves**

**Levantamento batimétrico do canal São Gonçalo na região do porto de Pelotas**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Hídrica, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico, da Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa:

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares (orientador)  
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria

---

MSc. Guilherme Kruger Bartels  
Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas

---

MSc. Augusto Muniz Cavalcanti  
Mestre em Bioecologia Aquática pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dedico a Deus, aos meus familiares e amigos, e a minha namorada, que sempre estiveram ao meu lado nesta jornada.

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer a todos que estiveram ao meu lado durante esta caminhada, pois o pouco ou muito que construí ao longo desses 6 anos e meio de universidade, não fiz sozinho.

Aos que acreditaram em meu potencial, desejo um muito obrigado, aos que duvidaram, agradeço também, pois os votos de confiança e descrença me deram força e energia de conquistar o que conquistei.

Ao meus pais, um agradecimento em especial, pelo suporte emocional, financeiro e amoroso que recebi durante toda essa jornada. As minhas irmãs, por terem sido minhas melhores amigas nessa luta.

Ao laboratório HidroSedi e aos colegas que tive a oportunidade de trabalhar junto, muito obrigado a todos, este trabalho é um conjunto de forças e conhecimentos de todos nós.

Aos meus professores orientador e coorientador, muito obrigado por terem me guiado na construção desse trabalho, sem vocês isso teria sido apenas uma ideia fora do papel.

A minha namorada, pela compreensão, amizade, dedicação e amor depositado em mim durante todos esses anos árduos de universidade.

*“... If you kind want something, then you’ll kind get  
the results you want...”*

Richard Williams, 2016.

## Resumo

GONCALVES, G.S. **Levantamento batimétrico do canal São Gonçalo na região do porto de Pelotas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Hídrica) - Engenharia Hídrica, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

A geração de mapas batimétricos de canais naturais é uma atividade de grande importância para a sociedade e essencial para a navegação. Porém, apesar da evolução ocorrida com os métodos utilizados para os levantamentos, esses ainda são processo bastante dispendiosos de tempo e recursos financeiros, devido à vários fatores que, conforme o material de leito do canal e as ações antrópicas no local, os mapas batimétricos podem necessitar de constantes atualizações e revisões. Desse modo, devido as proximidades geográficas e de conhecimento técnico do curso de Engenharia Hídrica com o Canal São Gonçalo, objetivou-se a geração de um mapa batimétrico do canal na porção do Porto de Pelotas. Para isso, fez-se uso de uma sonda ecobatimétrica acoplada a um GNSS para a coleta de pontos batimétricos em uma área de cerca de 0,6km<sup>2</sup>. Para a geração do mapa, inicialmente realizou-se uma análise visual dos pontos coletados, na busca de possíveis inconsistências na malha de dados obtida, para então executar-se a aplicação de um método interpolador. O método de interpolação utilizado foi o de Krigagem Ordinária, o qual permitiu a geração das curvas isobáticas do canal. Pela estratégia empregada, pode-se concluir que a aplicação do interpolador permitiu obtenção de resultados adequados e com precisão significativa considerando a metodologia utilizada.

**Palavras-Chave:** batimetria, Canal São Gonçalo, navegação.

## **Abstract**

GONCALVES, G.S. **Bathymetric survey of the São Gonçalo's channel at the harbor region of Pelotas**. Coursework (Undergraduate Course in Water Resources Engineering), Center of Technological Development, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2017.

The generation of bathymetric maps for natural channels it is a really important activity for the society and essential for the navigation. Despite the evolution that has come to the used methods for the bathymetric surveys, these still are very onerous in time and money regarding so many factors, which according to the bedload and the local anthropic actions, the bathymetric map may need an upgrade or revision. Therefore, regarding the geographic proximities and tech knowledge from de Water Resource Engineering about the São Gonçalo Channel, aimed the generation of a bathymetric map of the channel to the Port of Pelotas portion. For this, the study has made use of an echo sounder and a GNSS to the survey of bathymetric data in a 0.6km<sup>2</sup> area. To generate the bathymetric map, initially was made a visual analysis of the collected data looking for mistakes at the grid, to then apply the interpolation method. The interpolation method used was Ordinary Kriging that allowed to get isobathic curves for the channel. Thus, regarding the used method, it concludes the applied interpolation method allowed us to get suitable results with significant precision for the used methodology.

**Key-words:** bathymetric, São Gonçalo's channel, navigation.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Localização Canal São Gonçalo e do ponto inicial da medição no Campus Anglo .....	21
Figura 2 -Vista aérea do Porto de Pelotas – RS.....	24
Figura 3 -Delimitação da área de estudo entre o Campus Anglo da UFPel e a Ponte Férrea do Canal São Gonçalo.....	30
Figura 4 - Vista frontal do conjunto ecossonda modelo <i>SDE-28S</i> da marca <i>South</i> .....	31
Figura 5 - Vista lateral do conjunto ecossonda modelo <i>SDE-28S</i> da marca <i>South</i> .....	32
Figura 6 - Detalhamento do transdutor de cerâmica.....	32
Figura 7 - Vista frontal do GNSS <i>ProMark 500</i> da marca <i>Magellan</i> .....	33
Figura 8 -Esquema de instalação dos equipamentos na embarcação.....	34
Figura 9 - Vista frontal do equipamento <i>FiveGo</i> da marca <i>Mettler Toledo</i> .....	34
Figura 10 -Apresentação da área amostrada subdividida nas quatro campanhas batimétricas.....	35
Figura 11 - Representação dos pontos extras inseridos às margens do canal na área de estudo.....	38
Figura 12 -Apresentação da malha de pontos coletados na área de estudo.....	41
Figura 13 - Apresentação do modo de leitura e recebimento de informações batimétricas coletadas no software Power Nav.....	42

Figura 14 - Detalhe do modo de leitura e recebimento de informações batimétricas coletadas no software <i>Power Nav</i> .....	42
Figura 15 - Apresentação do modo de leitura e recebimento de informações batimétricas coletadas no software <i>EchoSunder</i> .....	43
Figura 16 - Resultado da soma dos pontos coletados em campo com os pontos adicionados em software .....	46
Figura 17 - Resultado de interpolação dos dados obtidos em campo, sem a delimitação de margem.....	47
Figura 18 - Resultado de interpolação dos dados obtidos em campo, com a adição dos pontos de delimitação de margem.....	47
Figura 19 -Localização das inconsistências na malha (A) e vista superior em detalhe das inconsistências (B) .....	48
Figura 20 -Mapa batimétrico do Canal São Gonçalo na região do Porto de Pelotas.....	50
Figura 21 -Mapa batimétrico com adição das curvas isobáticas do Canal São Gonçalo na região do Porto de Pelotas.....	51
Figura 22 -Mapa batimétrico do Canal São Gonçalo na região do Porto de Pelotas com adição dos perfis batimétricos extraídos.....	53
Figura 23 - Perfil batimétrico de número 1 na área de estudos.....	54
Figura 24 - Perfil batimétrico de número 2 na área de estudos.....	54
Figura 25 - Perfil batimétrico de número 3 na área de estudos.....	54
Figura 26 - Perfil batimétrico de número 4 na área de estudos.....	55
Figura 27 - Perfil batimétrico de número 5 na área de estudos.....	55

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Profundidades máximas, mínimas e médias para cada campanha batimétrica.....	40
Tabela 2 – Valores de leituras de profundidade para aferição da sonda.....	44
Tabela 3 – Leituras de nível d'água realizadas para cada campanha batimétrica.....	45
Tabela 4 –Valores de Erro Quadrático Médio para os interpoladores aplicados.....	49

## Sumário

<b>1 Introdução.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>17</b>
1.1.1 Objetivo geral.....	17
1.1.2. Objetivos específicos.....	17
<b>2 Revisão de literatura.....</b>	<b>18</b>
2.1 Recursos Hídricos.....	18
2.2 Hidrovias.....	18
2.2.1 Hidrovia Uruguai-Brasil.....	19
2.3 Canais.....	20
2.3.1 Canal São Gonçalo.....	21
2.4 Portos.....	22
2.4.1 Porto de Pelotas.....	24
2.5 Batimetria.....	25
2.6 Equipamentos acústicos e de posicionamento.....	26
2.7 Interpolador Krigagem.....	28
<b>3 Material e métodos.....</b>	<b>31</b>
3.1 Local de estudo.....	31
3.2 Equipamentos Utilizados.....	32
3.3 Metodologia Aplicada.....	36
3.3.1 Obtenção dos dados batimétricos .....	36
3.3.2 Aferição da ecossonda.....	37
3.3.3 Redução para a Cota de Referência.....	37
3.3.4 Inserção de pontos delimitadores.....	38
3.3.5 Identificação de falhas nos dados.....	39
3.3.6 Aplicação do método interpolador.....	39
<b>4 Resultados e Discussão.....</b>	<b>40</b>
4.1 Realização das medições.....	40
4.2 Ecossonda SDE-28S.....	41

4.3 Aferição da Sonda Ecobatimétrica.....	44
4.4 Nível d'água durante as campanhas.....	45
4.5 Inserção de pontos delimitadores.....	45
4.6 Identificação de falhas.....	47
4.7 Aplicação dos métodos de interpolação.....	48
4.8 Perfis batimétricos.....	52
<b>5 Conclusão.....</b>	<b>54</b>
<b>Referências.....</b>	<b>55</b>

## 1 Introdução

A navegação marítima e fluvial acompanha o desenvolvimento das populações há milênios, tendo sido peça chave para diversos fins, tais como o descobrimento de novas terras, criação de rotas para comércio, estratégias de guerras, conexão entre os povos, otimização da atividade de pesca, estudos científicos, exploração de petróleo e fins turísticos, entre outras.

Contudo, a navegação depende de características e parâmetros morfométricos dos cursos d'água no qual estão inseridos, pois os mesmos podem ser limitantes para certos tipos de embarcações e navegação correspondente. Deste modo, faz-se necessário o conhecimento de informações de profundidade do curso d'água que se deseja navegar.

Assim, com o intuito de trazer segurança a essas atividades, a batimetria, como é chamado o estudo de levantamentos de profundidades nos cursos d'água, progrediu no mesmo ritmo da navegação. A batimetria passou por várias evoluções já tendo sido realizada de distintas formas tais como: mergulhadores fazendo o reconhecimento visual das profundidades a jusante dos caminhos a serem navegados; utilização de varas métricas lançadas em direção ao leito do curso d'água; lançamento de chumbadas amarradas a cordas em direção ao leito, entre outras tantas metodologias empíricas ou não.

Atualmente, a batimetria encontra-se em um outro estágio, fazendo uso de técnicas de ecossondagem (emissão de vibrações acústicas em direção ao leito do curso d'água), monofeixe e multifeixe (emissão em uma direção no sentido vertical, ou várias direções e angulações), evoluindo para a utilização de refração de imagem de satélites.

A utilização de estudos batimétricos, não se restringe apenas ao campo da navegação, se estendendo as atividades de dragagem de corpos hídricos, avaliação de estados de assoreamento, reconhecimento de evoluções sedimentológicas e estudos de compactação do leito de rios e canais.

A utilização de ecossondas apresentam melhorias significantes diante das outras formas disponíveis, tanto na quantidade de informações possíveis de se obter, quanto na precisão da informação obtida, aliado a um menor intervalo de tempo para obtenção dessas informações. Além disso, devido as características da informação

obtida com esse tipo de equipamento, é possível a sua manipulação de diferentes formas, gerando resultados, de acordo com objetivo e necessidade, sendo um deles a geração de mapas de perfis batimétricos.

Mapas de perfis batimétricos, caracterizam-se por apresentar informações de profundidades do curso d'água levantado, sendo que a interpolação dessas informações permite a representação desses mapas de forma contínua, fazendo-se uso de informações amostradas e estimadas.

A geração de mapas batimétricos atualizados para o Canal São Gonçalo na porção do Porto de Pelotas, será de grande importância como ferramenta de apoio para as operações de navegação da região que permitirão orientar situações de navegabilidade. Atualmente o Porto de Pelotas opera diariamente barcaças em sua bacia de evolução, grande parte dessas carregadas com toras de madeira, sendo essas cargas da ordem de 2,5 a 4,5 toneladas. Os conhecimentos dos perfis de profundidade do Canal São Gonçalo são imprescindíveis na condução e manejo das atividades de navegação nesse importante curso d' água e estrutura portuária da região sul do RS.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Realizar um levantamento batimétrico do Canal São Gonçalo, na região do Porto de Pelotas, no município de Pelotas, estado do Rio Grande do Sul.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- i) Realizar coleta dos dados batimétricos do local de estudo e análise visual dos dados obtidos;
- ii) Aplicar e comparar os resultados obtidos com o uso de interpoladores determinísticos e geoestatísticos para a geração de mapas batimétricos da área de estudo.

## **2 Revisão de literatura**

### **2.1 Recursos Hídricos**

O Brasil ocupa uma posição privilegiada no que se refere a recursos hídricos, possuindo abundância pluvial à qual incide em cerca de 90% de seu território, o que concede ao País uma posição como membro das Nações Unidas, na classe dos países ricos em água doce no mundo (REBOUÇAS, 2003). Como resultado desses elevados índices de pluviosidade no país, o Brasil é possuidor de 12% da disponibilidade de água doce superficial do mundo (ANA, 2012).

Para Moraes e Jordão (2001), os recursos hídricos representam um importante instrumento para a sociedade, no qual podemos destacar o abastecimento de água, geração de energia, irrigação, aquicultura, paisagismo e a navegação. Na navegação, possui uma importância maior quantitativamente do que qualitativamente. Isto permite que o sistema hidroviário se torne muito abrangente, tendo em vista o potencial hídrico que o País possui.

### **2.2 Hidrovias**

Para Almeida e Peres (2004), hidrovias podem ser explicadas como sendo vias navegáveis na qual circulam embarcações, fazendo uso de rios para estabelecer rotas. Projetos hidroviários devem levar em consideração as condições de navegação, segurança e garantia de tráfego durante o ano inteiro se possível. Ainda segundo o autor, Hidrovias são vias navegáveis imaginária sobre o rio, vias essas que não existem fisicamente, mas que constam em cartas e mapas náuticos, fazendo com que embarcações consigam navegar com precisão sendo orientadas por boias e placas de sinalização.

É um dos meios de transporte de mercadorias mais antigo utilizado pelo homem, devido a simplicidade em utilizar a corrente natural presente no curso d'água, assim como o baixo impacto causado ao meio ambiente (REBOUÇAS, 2003). Outra vantagem na utilização de transportes hidroviários em relação a outros meios de transporte como, por exemplo, o ferroviário e rodoviário, é a inexistência de seccionamento no ecossistema em que a malha está inserida diferentemente dos outros meios de transporte.

Entretanto para Rebouças (2003), algumas vezes, inserções artificiais fazem necessárias nos ambientes no qual estão se instalando, impondo novas e artificiais condições aos habitats naturais ali existentes, gerando alterações diversas, tais como da evolução da sedimentação e alteração das vazões. Além disso, também ocorrem alterações como a remoção ou surgimento de novas espécies de fauna e/ou flora, alteração da topografia local e do escoamento superficial da região.

As hidrovias também ocupam lugares de destaque por ainda manterem um baixo custo energético para o transporte de cargas quando comparado às malhas de transporte ferroviárias e rodoviárias. Segundo Biaggioni e Bovolenta(2010), a utilização de meios multimodais, no qual são empregadas as malhas hidroviárias, ferroviárias e rodoviárias de forma conjunta no transporte, pode gerar, por exemplo, uma economia de até 47% nos custos do transporte de soja quando comparado à utilização apenas da malha rodoviária para a mesma rota. Os mesmos autores também salientam a necessidade de maiores e mais constantes gastos em manutenção e expansão da malha rodoviária comparada aos meios de transportes aquáticos.

### **2.2.1 Hidrovia Uruguai-Brasil**

A Hidrovia Uruguai-Brasil representa um importante marco para as relações comerciais bilaterais entre os países latino americanos Brasil e Uruguai. Atualmente, essa hidrovia possui cerca de 1.860 km de vias plenamente navegáveis, permitindo embarcações de até 15,5 m de boca (largura da embarcação) e 2,5 m de calado (distância entre a quilha do navio e sua linha de flutuação), estando o Canal São

Gonçalo inserido na mesma, possuindo cerca de 91 Km de vias plenamente navegáveis (ALBERTI, 2016).

O Canal São Gonçalo também se caracteriza por representar um elo de grande importância para a ligação hidroviária entre o Brasil e Uruguai, devido às suas dimensões, capacidades e posição geográfica estratégica.

Ainda segundo (ALBERTI, 2016), a movimentação média anual de cargas na Hidrovia Uruguai-Brasil, por vezes chamada de Hidrovia do Mercosul, gira em torno de 4.5 milhões de toneladas, sendo que entre as principais cargas transportadas pela hidrovia estão os fertilizantes e adubos, óleos minerais, produtos químicos orgânicos, grãos (soja e milho), assim como celulose e carvão mineral.

### **2.3 Canais de navegação**

Existem registros de que os primeiros canais navegáveis foram construídos antes da existência de malhas rodoviárias, com o intuito de ligar os rios navegáveis às áreas produtivas e as principais cidades. O primeiro canal artificialmente construído foi na China, conhecido como o Grande Canal da China, no século VI. Posteriormente, foram construídos canais no Antigo Egito, o qual teria início no Rio Nilo, porém esses canais nunca foram encontrados (SANTOS, 2011). Esse movimento iniciado na China antiga se entendeu até os Estados Unidos da América, e posteriormente para a Europa, até o surgimento das ferrovias, em meados de 1825, com a proposta de ligar áreas não banhadas por rios, tarefa essa que não era possível fazendo uso apenas de canais artificiais.

Canais navegáveis podem, em sua forma, existirem tanto como Canais naturais, quando se formam devido a processos naturais de intemperismo existentes, ou como canais artificiais, tendo sido construídos pela mão do homem, resultado de projetos de engenharia. Porém, mesmo em sua concepção como natural, os canais sofrem com a ação antrópica, tais como ações de degradação, adaptação, melhoria e ampliação das características geométricas, seja com o intuito de tornar os canais navegáveis ou para aumentar sua condição de navegabilidade.

Para a correta execução da operação da malha hidroviária no mundo e no Brasil, comumente faz-se uso de canais artificiais. Canais artificiais são estruturas

hidráulicas utilizadas por uma determinada malha hidroviária, o qual possuem características geométricas conhecidas e importantes para que seja permitido o seu uso de forma segura e eficaz, tais como: Largura mínima do canal, profundidade mínima, área mínima da seção transversal, raios mínimos de curvatura e sobre largura, velocidade máxima, altura livre sob pontes e sob interferências, e largura de vãos navegáveis em pontes, sendo que essas características são definidas em função do tipo e porte da embarcação que espera-se receber nesse canal (REBOUÇAS, 2003).

### **2.3.1 Canal São Gonçalo**

O Canal São Gonçalo apresenta-se como peça de extrema importância para a região que se insere, pois, o mesmo é utilizado recreação, lazer, abastecimento, pesca de subsistência, além de ser uma importante via de transporte fluvial (MEDRONHA *et al.*, 2013; SOUZA, 2015). Possui um frequente e considerável número de embarcações que o frequentam (caíques de pesca, iates e lanchas) e transitam suas águas límnicas e pré-límnicas inseridas na Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim (CAPITOLI, BENVENUTI e GIANUCA1977).

Possuidor de uma área de influência de 790,91Km<sup>2</sup>, o Canal São Gonçalo gera uma planície lagunar que abrange os municípios de Pelotas, Rio Grande, Capão do Leão e Arroio Grande (SIMON e SILVA, 2015).

O Canal São Gonçalo caracteriza-se por ser o responsável pela totalidade do deflúvio do Complexo Hidrográfico Mirim, sendo seu único escoadouro (BIOSFERA, 2014). Localizado na porção oeste-sul do sistema da Laguna dos Patos, o Canal São Gonçalo possui uma extensão de aproximadamente 70Km e intercomunica a Laguna dos Patos com a Lagoa Mirim (HARTMANN e HARKOT, 1990). De origem natural, este canal pode ser descrito como sinuoso, com suas larguras variando entre 200 e 300m e possuindo profundidade de até 10m (BURNS, 2010; MEDRONHA *et al.*, 2013), apresentando baixa variação de nível por influência de amplitude de marés (0,47m em média por ano) (HARTMANN e SCHETTINI, 1991).

Possui como principal tributário o Rio Piratini, sofrendo influência das águas afluentes das Bacias do Arroio Pelotas e da Bacia do Arroio do Pepino (BIOSFERA,

2014; SOUZA, 2015). Como característica, possui fluxo de corrente de 70% do tempo com sentido da Lagoa Mirim para a Laguna dos Patos (MEDRONHA *et al.*, 2013), porém, em épocas de estiagem severa, ocorre a inversão do sentido do fluxo (CAPITOLI e BENVENUTI, 2004).

Outra característica do Canal São Gonçalo é o seu deflúvio médio, que é da ordem de  $700\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , com velocidades médias da ordem de  $0,6\text{m}.\text{s}^{-1}$ . Em épocas de inundações, os deflúvios podem chegar a  $3.000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , bem como em épocas de estiagem esses valores podem ser reduzidos a zero, períodos nos quais identificam-se eventos de inversão de fluxo (BURNS, 2010).

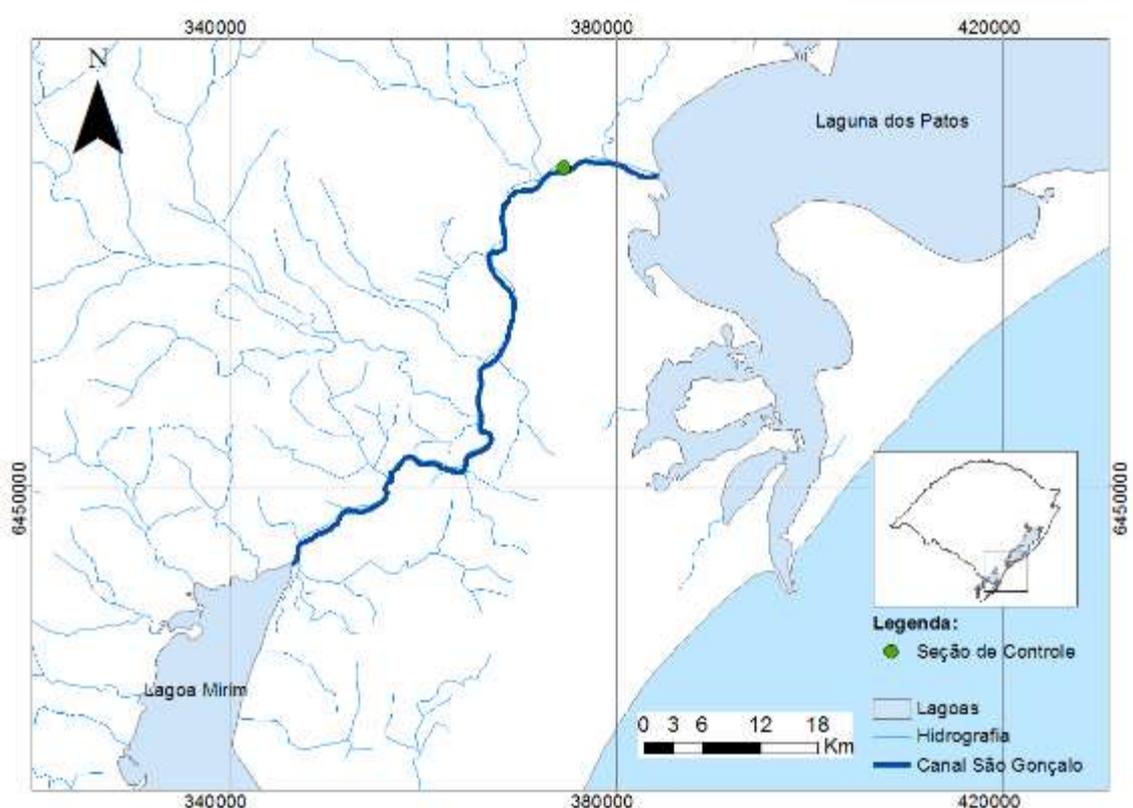


Figura 1 - Localização Canal São Gonçalo e do ponto inicial da medição no Campus Anglo.  
Fonte: adaptado de LIMA, 2016.

Segundo o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM, 1963), antes da construção da Barragem-Eclusa do Canal São Gonçalo, executada em 1977, o canal possuía oscilações média diárias de nível d'água da ordem de 30cm. Segundo Capitoli e Bemvenuti (2004), o Canal São Gonçalo possui seu deflúvio da Lagoa Mirim em direção a Laguna dos Patos, porém, esse fluxo pode se inverter em períodos de estiagem, gerando fluxos contrários, os quais são barrados pela barragem-eclusa

existente, permitindo a intrusão salina no Canal São Gonçalo até a mesma. Ainda segundo o autor, um caso extraordinário ocorrido apenas uma vez, gerou o represamento das águas a jusante por ocorrência de ventos da ordem de  $127\text{Km.h}^{-1}$ .

## 2.4 Portos

Portos são estruturas criadas pelo homem para serem um importante elo na cadeia logística multimodal, funcionando como terminais de auxílio para a mesma (ALFREDINI e ARASAKI, 2009), influenciando o modo com o qual o homem transporta pessoas e cargas desde os primórdios das civilizações.

Para Boyle (2013), registros históricos recentes apontam para existência de estruturas portuárias construídas 4,500 anos atrás, sendo esse porto datado como o mais antigo em pelo menos 1000 anos a qualquer outra estrutura portuária já conhecida pelo homem, tendo sido utilizado pelos antigos egípcios para o transporte de materiais necessários a construção das Antigas Pirâmides do Egito. Informações e descobertas como essa servem para salientar a importância que os portos exerceram no desenvolvimento das antigas e novas civilizações.

No Brasil, os portos foram essenciais no passado, pois deram início ao intercâmbio cultural e econômico com o continente europeu desde à sua descoberta. Atualmente, no Brasil, os portos ainda possuem igual e/ou maior importância quando comparado ao passado, devido à posição de destaque que o País ocupa em relação aos números de produção agrícola anuais, estando o Brasil como o segundo maior produtor de soja mundial e entre os maiores exportadores de café do mundo, tendo suas produções usualmente escoados por portos como Santos, Rio de Janeiro e Vitória (EMBRAPA, 2015).

Contudo, a instalação e funcionamento de um porto gera características e demandas estruturais bastante peculiares, tais como: a formação de abrigos para embarcações contra ventos, corrente e ondas; a manutenção de uma determinada lâmina d'água compatível com as embarcações comumente existentes nessa região portuária, englobando o canal de acesso, bacia portuária e berços de acostagem; existência de uma área de retroporto condizente com o volume de carga e passageiros movimentada nesse porto; acessos multimodais à essa região de porto,

tais como por ferrovias, rodovias e hidrovias fluviais no intuito de prover eficiente chegada e retirada de cargas e pessoas do porto; possibilidade de existência de impactos ambientais nessa região, em vista que as operações portuárias tanto terrestres quanto aquáticas, são em sua essência atividades antrópicas ao meio ambiente natural ali previamente instalado, fazendo necessário a avaliação desses possíveis impactos ambientais, tal como a obtenção de licença para a operação de tais empreendimentos (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

Conquanto, as influências econômicas positivas nas esferas nacional, estadual e municipal geradas pela instalação ou existência de um porto em uma determinada região, podem ser consideradas sobressalentes aos possíveis danos e inserções antrópicas de uma obra de tal porte.

#### **2.4.1 Porto de Pelotas**

Administrado pela Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG), e de acordo com a mesma, o Porto de Pelotas é peça fundamental para a metade sul do Estado do Rio Grande do Sul em diversos fatores, tais como na geração de emprego (cerca de 800 empregos diretos) e auxílio na logística de escoamento de cargas para outros portos, sejam eles marítimos (aptos a receberem navegações oceânicas, assim como cabotagem) ou fluviais (constituídos basicamente de navegação por águas interiores, com portos de destino dentro da mesma bacia hidrográfica).

O Porto de Pelotas está localizado às margens do Canal São Gonçalo, possuindo uma bacia de evolução contendo 250 metros de largura (largura do Canal São Gonçalo) por 500 metros de comprimento (comprimento total do cais acostável). Possui acesso através das rodovias BR-293, pela conexão entre as Br-471 e BR-392, e pela BR-116, assim como possui acesso ferroviário através da malha ferroviária da empresa Rumo.

Atualmente concentra suas atividades na movimentação de toras de madeira, carga essa que gera um volume médio diário de 4.500 toneladas de madeira saindo do Porto de Pelotas em direção ao Porto de Guaíba, 231 quilômetros distante. Anualmente, o volume de carga representaria cerca de 180 mil caminhões somente na BR-116 que liga Pelotas a Porto Alegre (TREVISA, 2017).



Figura 2 - Vista aérea do Porto de Pelotas - RS.  
Fonte: SUPRG, 2017.

## 2.5 Batimetria

Os estudos e levantamentos batimétricos são ferramentas de grande importância para o conhecimento de características e parâmetros morfométricos de corpos d'água, permitindo uma maior compreensão da estrutura e funcionamento de ambientes aquáticos (RESCK et al, 2007), servindo, historicamente, de valioso auxílio para a gestão dos recursos hídricos.

Para Resck et al. (2007), a utilização de mapas batimétricos, resultantes de levantamentos, constituem-se de um importante subsídio para a realização de pesquisas diversas tais como: evolução de assoreamento, qualidade de água, ictiofauna, bem como permitem também a obtenção de alguns parâmetros dos cursos d'água, como a estimativa do grau de assoreamento, cálculo do volume de armazenagem, atualização das curvas de capacidade, modelo do relevo submerso, e obtenção de informações úteis para a tomada de decisão no gerenciamento e utilização dos recursos hídricos feito pelos órgãos públicos competentes (ÁLVARES, et al., 2000)

Os meios e equipamentos para a obtenção dos dados batimétricos tem evoluído continuamente, sendo utilizados atualmente de formas configuráveis, ou

seja, podendo ser configurados em função de intervalo de tempo ou distância percorrida para a obtenção de dados, gerando informações mais apropriadas para posteriores modelagens.

Os levantamentos batimétricos fazem uso de equipamentos capazes de emitir ondas sonoras e, imediatamente, processar os dados com o auxílio de *softwares* e *hardwares* informatizados, gerando informações batimétricas com a precisão de centímetros, como é o caso do presente trabalho, na qual o conjunto ecobatimétrico produz dados com a resolução de 1 centímetro e precisão de  $\pm 0.1\%$  de profundidade da água (SOUTH, 2014).

A importância dos levantamentos batimétricos para a navegação está diretamente ligada com a manutenção e consolidação de uma rede fluvial navegável segura, requisitos necessários para atender a atual crescente demanda de escoamento e recebimento de cargas, devido ao aumento de produção e consumo de bens, assim como com a evolução dimensional das embarcações utilizadas para tais funções. Pois, para que se possa atender às demandas anteriormente citadas, faz-se necessária em alguns casos, ações para a diminuição do assoreamento, bem como ações de dragagens de áreas como os canais de acesso, bacias de evolução, e berços de atracação.

As ações de aprofundamento do calado de hidrovias, na maioria dos casos ocorre devido à grande necessidade que se tem em manter um calado mínimos necessário para operação da mesma, sendo que esses valores mínimos aceitáveis variam entre 0,3 e 0,5m de profundidade, porém apenas para trechos restritos da hidrovia, sendo mais comumente aceitos valores próximos a duas vezes o calado do canal, pois profundidades menores que a última citada, podem impactar negativamente nos custos com combustível gasto pelas embarcações, já que a diminuição do calado no canal, diminui a eficiência do motor das embarcações (ALFREDINI, 2009).

## **2.6 Equipamentos acústicos e de posicionamento**

Para coleta dos dados batimétricos, faz-se necessário o conhecimento da profundidade existente entre a superfície da lâmina d'água até o leito do curso d'água

analisado, bem como o conhecimento do posicionamento geográfico do ponto analisado em questão.

Para Cooke (2007), na coleta de dados batimétricos, comumente faz-se uso de métodos hidroacústicos, utilizando ecossondas capazes de realizar a transmissão de um som para o interior do corpo d'água. Esses equipamentos são compostos por um transmissor, um transdutor, um receptor/amplificador, uma base de tempo e um monitor. O transmissor, por ordem da base de tempo, emite um pulso de frequência e duração conhecidas para energizar o transdutor. Essa energia é convertida pelo transdutor em energia acústica a qual é transmitida para a água. Como resultado, obtém-se ecos de retorno, os quais são convertidos pelo transdutor em energia elétrica, os quais são processados e disponibilizados na forma de "imagem" de origem acústica, gerando assim, ecogramas da profundidade.

O *Ecobatímetro SDE-28S* da marca *Shouth*, com frequência de 200 kHz, instalados a bombordo ou estibordo de uma embarcação naval de pequeno a grande porte, podem executar a tarefa de coleta de dados batimétricos por emissão de sons hidroacústicos em um canal com profundidades entre 0,30m e 300m. O mesmo equipamento também possui dois softwares instalados, *PowerNav* e o *EchoSounder*, para auxílio do momento da coleta de dados, bem como para possíveis necessidades de conferência ou revisão dos dados coletados (SOUTH, 2014).

Segundo o Manual de Operações<sup>1</sup> é possível obter informações extras a respeito das características da ecossonda, do transdutor de cerâmica e dos softwares que acompanham o pacote, bem como informações sobre o fabricante.

O transdutor pode ser previamente configurado para emitir pulsos acústicos por intervalo de tempo ou por intervalo de distância, configuração essa que pode ser alterada, assim como é possível que os dados de pulso acústico sejam simultaneamente anexados à informação de posicionamento geográfico no momento de disparo de cada pulso acústico, gerando, assim, um ponto batimétrico georreferenciado.

Os dados medidos pelo conjunto de equipamentos, transdutor, ecobatímetro e GPS, são: profundidade, latitude, longitude e ruído do pulso acústico emitido. Sendo que os dados de latitude e longitude incluem hora, e informações acerca da constelação de satélites utilizada na estimativa da localização através do Sistema de Posicionamento Global (GPS) (MUELLER e WAGNER, 2009).

Como já citado, no processo de coleta de dados batimétricos também se faz importante o conhecimento da posição geográfica de cada ponto amostrado. Por isso, equipamentos como o Sistema Geodésico de dupla frequência Global Navigation Satellite System (GNSS), modelo ProMark 500 da marca *Magellan*, permitem a obtenção de informações, acerca do posicionamento geográfico, sendo essa informação anexada a informação de profundidade, gerando para cada valor de profundidade coletado com a ecossonda, também, coordenadas de Latitude e Longitude para o mesmo.

O modelo de GNSS ProMark 500, possui como características a possibilidade de trabalhar com tecnologia multiconstelções, sendo essas a GPS, Global Navigation Satellite System (GLONASS) e Satellite-Based Augmentation System (SBAS), na qual o equipamento identifica o maior número de satélites possível para a obtenção do posicionamento geográfico, melhorando a precisão na obtenção de dados. O mesmo possui como característica, segundo o fabricante, Precisão (RMS – Root Mean Square Error) de Tempo Real Horizontal menor que 80 centímetros e um intervalo de gravação de dados variando de 0.1 a 999 segundos.

Segundo o Manual de Operações<sup>1</sup> do GNSS ProMark 500 é possível obter mais informações acerca do mesmo, bem como suas características, limitações e instruções de operação.

Levantamentos batimétricos também devem utilizar uma régua linimétrica, instalada às margens do canal em estudo, pois essa informação é de grande importância para, posteriormente, servir de referência para o nível d'água das campanhas batimétricas efetuadas.

## **2.7 Interpoladores**

A partir dos levantamentos batimétricos fazendo uso de equipamentos monofeixe, o resultado obtido, é uma malha ou conjuntos de pontos de coordenadas tridimensionais, os quais não permitem por si só gerar diretamente uma superfície de fundo do local amostrado. Para tal tarefa, se faz uso de interpoladores estatísticos, como são assim chamados os métodos de interpolação (CAMARGO, 1998).

Segundo Andriotti (2003), a interpolação pode ser definida como o procedimento no qual estimam-se valores não amostrados de uma variável a partir de valores previamente observados, fazendo uso dos dados observados duas vezes, inicialmente para estimar a auto correlação entre esses, e posteriormente para estimar dados não observados, permitindo assim a representação de forma contínua da variável.

Para Mesquita (2009), os métodos de interpolação são funções matemáticas utilizadas na densificação de uma amostra que não cobre por inteiro determinado domínio de interesse. Ainda segundo o autor, as técnicas de interpolação geoestatística guiam-se na primeira lei da Geografia, a qual diz que coisas próximas tendem a ser mais correlacionadas posto que coisas que estão mais distantes.

A Geoestatística pode ser definida, basicamente, como sendo a aplicação da teoria de regionalização de variáveis para a estimação de dados (KRIGE, 1951). Aplicada pela primeira vez em 1950 pelo sul-africano Daniel Krige, foi utilizada para prever locais propícios à exploração de ouro em uma mina, que possuía uma quantidade limitada de amostras coletadas (CLARK, 1979). Posteriormente, em 1960, o francês Georges Matheron ficou conhecido por ter sido o primeiro a utilizar o termo Geoestatística, assim como a noção de variograma.

A geoestatística possui diferentes interpoladores descritos na literatura, sendo eles divididos como métodos de interpolação determinísticos e probabilísticos (SANTOS, 2011). Os modelos determinísticos tais como a Ponderação do Inverso das Distancias e o Polinômio Local, fazem previsões com o uso de funções matemáticas. Já os modelos probabilísticos fazem uso de métodos estatísticos, bem como de funções matemáticas, permitindo a estimativa da incerteza atrelada as previsões (MESQUITA, 2009). Entretanto, para Terra (2012), modelos determinísticos são limitados para determinar a variabilidade espacial, fazendo uso apenas de funções matemáticas. Por isso, a utilização de um interpolador probabilístico, tal como a krigagem, se torna importante no estudo da variabilidade espacial e temporal.

Aprincipal diferença existente entre os interpoladores geoestatísticos é a forma com que os pesos são atribuídos as diferentes amostras, sendo a krigagem um método diferenciado dos outros, pois determina os pesos dos dados desde uma análise espacial, baseada em um semivariograma experimental. Ademais, outras características importantes da krigagem são a capacidade de fornecer estimativas sem tendência e com variância mínima, bem como a possibilidade de perceber a

variância da estimativa, valor que nos apresenta a precisão associada a cada valor predito (VIEIRA, 2000).

Segundo Santos (2011), encontram-se na literatura diferentes tipos de krigagem, tais como krigagem ordinária, krigagem simples, e co-krigagem. Para Ladim *et al* (2002), na krigagem ordinária a média dos valores é considerada como sendo móvel ou flutuante em toda a área.

Assim como ressaltado por Andriotti (2003) vê-se a importância da escolha do interpolador para a geração de um *grid*, pois o resultado gerado pelo mesmo pode ter diferentes interpretações, porém, todas corretas bem como possuindo diferentes interpretações, sendo que para cada método escolhido devemos ter diferentes resultados.

### 3 Material e métodos

#### 3.1 Local de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no Canal São Gonçalo, que está localizado no município de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul.

A área de medição determinada para o presente trabalho partiu da posição Latitude  $-31.784306^\circ$  e Longitude  $-52.323071^\circ$ , nas proximidades do Campus Anglo da UFPel, até a posição Latitude  $-31.788195^\circ$  e Longitude  $-52.34527^\circ$ , onde se encontra a Ponte Férrea do Canal São Gonçalo, resultando em uma área de aproximadamente  $0,56\text{km}^2$ , como pode ser vista na figura 3.

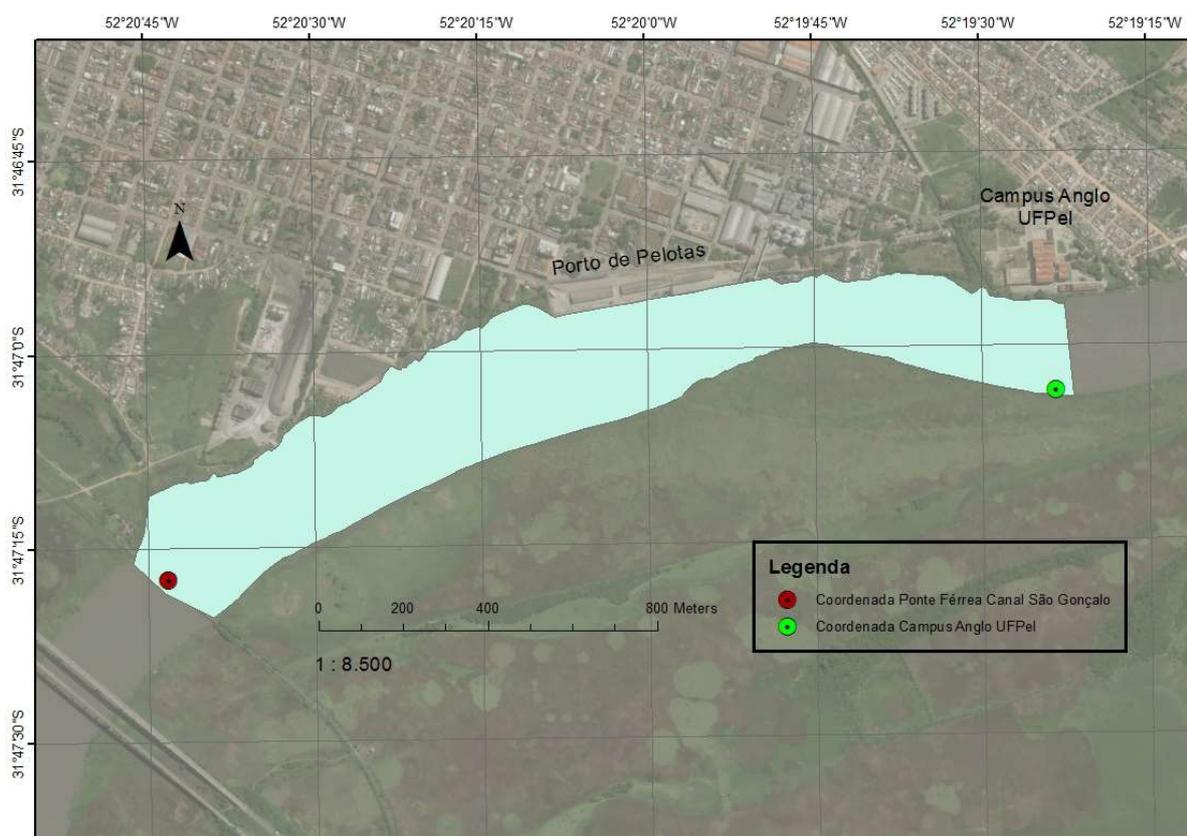


Figura 3 -Delimitação da área de estudo entre o Campus Anglo da UFPel e a Ponte Férrea do Canal São Gonçalo.

A escolha da área de medição ocorreu, principalmente, pelas proximidades com o Campus da UFPele do Porto de Pelotas, com acesso facilitado e seguro ao local de medição.

### 3.2 Equipamentos utilizados

Para o presente trabalho, utilizou-se de uma *Ecossonda Batimétrica*, modelo *SDE-28S* da marca *SOUTH*, para a coleta de pontos batimétricos no Canal São Gonçalo, conforme apresentam as figuras 4, 5 e 6.

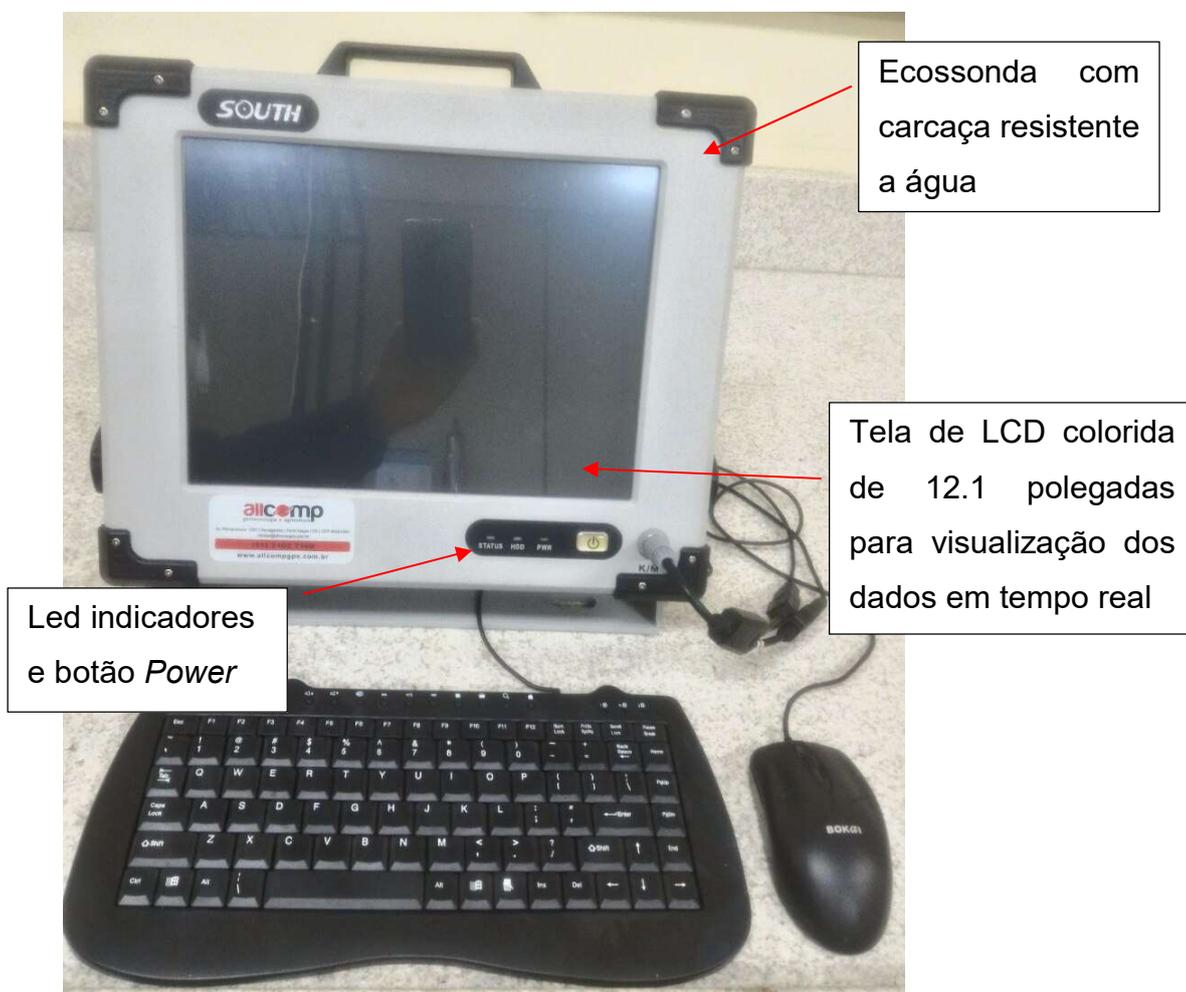


Figura 4 - Vista frontal do conjunto ecossonda modelo *SDE-28S* da marca *South*.



Figura 5 - Vista lateral do conjunto ecossonda modelo *SDE-28S* da marca *South*.



Figura 6 - Detalhamento do transdutor de cerâmica.

Concomitante com a utilização da ecossonda, se fez uso de um GNSS, modelo *ProMark 500* da marca *Magellan*, conforme apresentado na figura 7, para obtenção de dados de posicionamento geográfico, sendo essa informação anexada a informação de profundidade obtida pela ecossonda.



Figura 7 - Vista frontal do GNSS *ProMark 500* da marca *Magellan*.

O Transdutor de Cerâmica, peça componente do kit da ecossonda utilizada, foi instalado a bombordo de uma embarcação de alumínio, estando este submerso cerca de 20 cm quando com duas pessoas na embarcação.

Na figura 8, pode-se notar a disposição dos equipamentos conforme sua instalação na embarcação utilizada durante as campanhas batimétricas.

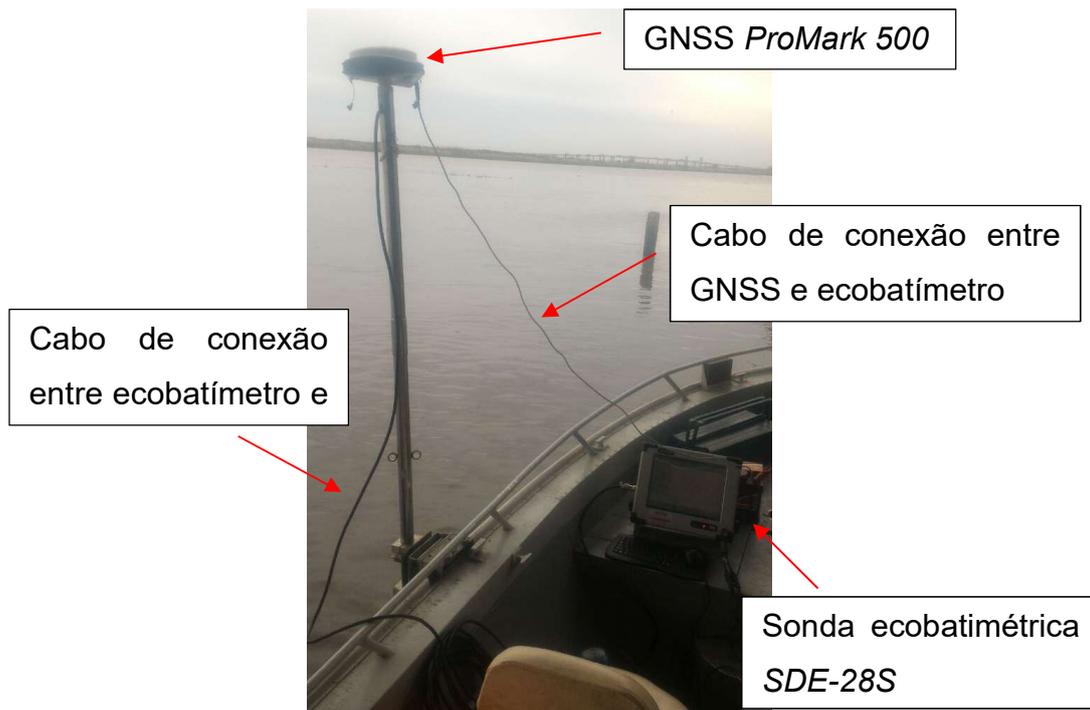


Figura 8 -Esquema de instalação dos equipamentos na embarcação.

Para cada uma das campanhas batimétricas realizadas, anterior ao processo de coleta de dados batimétricos, fez-se uma coleta dos valores de temperatura e salinidade do canal, pois esses dados devem ser inseridos na ecossonda para que a mesma possa fazer o cálculo correto da velocidade do som emitido. Para tal, utilizou-se de uma sonda portátil modelo FiveGo da marca Mettler Toledo (figura 9).



Figura 9 - Vista frontal do equipamento *FiveGo* da marca *Mettler Toledo*.  
Fonte WAGNER, 2009.

### 3.3 Metodologia Aplicada

#### 3.3.1 Obtenção dos dados batimétricos

Para a obtenção dos dados batimétricos foram realizadas 4 campanhas batimétricas no Canal São Gonçalo, nas datas de 15/12/2016, 12/01/2017, 21/03/2017 e 04/05/2017, que podem ser vistas na figura 10, de acordo com a sua distribuição espacial na área de estudo.

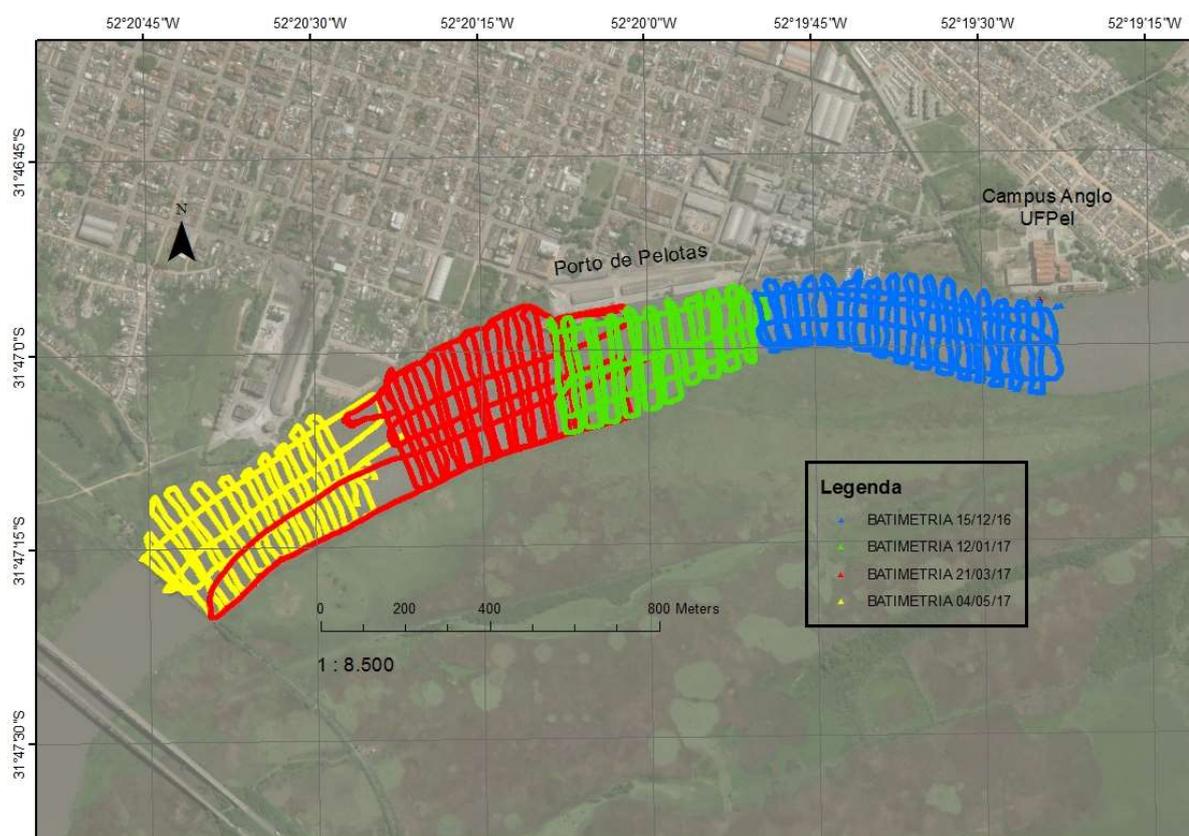


Figura 10 - Apresentação da área amostrada, subdividida em quatro campanhas batimétricas.

A informação obtida através das campanhas batimétricas pode ser interpretada, manipulada e visualizada em diferentes plataformas. No presente trabalho, se fez uso dos softwares que acompanham o Ecobatímetro SDE-28S (*PowerNav* e *EchoSounder*), assim como o software *ArcMap* versão 10.2.2.

Segundo a Marinha do Brasil, levantamentos hidrográficos de Ordem 1b, ou seja, levantamentos batimétricos sem o propósito de produzir elementos que sirvam para atualização de cartas náuticas, devem respeitar a seguinte regra para espaçamento de linhas transversais de coletas batimétricas em relação ao fluxo do canal: o espaçamento pode ser três vezes a profundidade média, ou 25m, o que for maior para o presente estudo (NORMAM-25, 2014).

De acordo com SPH, 2005, a profundidade média do Canal São Gonçalo nessa porção é da ordem de 6m, tendo sido utilizada também essa informação para definir o espaçamento ideal entre linhas transversais de batimetria, segundo instruções da NORMAM-25.

Durante as campanhas batimétricas para coleta de pontos, utilizou-se uma velocidade média de deslocamentos da embarcação de  $5 \text{ km.h}^{-1}$ , e intervalos entre os eixos transversais de coleta de dados adotados em cerca de 25 m cada. A ecossonda foi configurada no intervalo de tempo para realizar emissão de pulsos sonoros, a cada 1 segundo.

### **3.3.2 Aferição da ecossonda**

Durante as campanhas de coleta de dados batimétricos, também foram coletados pontos para aferir a precisão da ecossonda. Esse procedimento baseou-se na verificação da profundidade do canal em pontos aleatórios, utilizando simultaneamente uma trena milimétrica da marca *Lufkin*, com extensão de 20m, e a sonda ecobatimétrica *SDE-28S*. O procedimento foi realizado em pontos aleatórios, onde primeiramente fundeou-se a embarcação e, com o auxílio de uma chumbada, lançou-se a ponta da trena em direção ao fundo do canal. Quando obtida a medição com a trena, estando ela esticada o máximo possível, fazia-se a leitura da profundidade na ecossonda.

### 3.3.3 Redução para a Cota de Referência

Objetivando reduzir os dados encontrados nas quatro campanhas batimétricas, tomou-se nota da cota do Canal São Gonçalo no início da campanha e no final de cada campanha, com isso, calculou-se a cota média.

Os valores de Cotas Médias de suas respectivas campanhas batimétricas, foram empregadas para a redução dos valores de profundidade obtidos com o levantamento batimétrico, que teve a intenção de ter todos os valores de profundidade em referência a cota zero da régua linimétrica.

Estas informações de cotas foram obtidas a partir de uma régua linimétrica instalada as margens do Canal São Gonçalo, no Porto de Pelotas sendo controlada pela Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG). Esta régua linimétrica está instalada na condição que o zero da régua está a 31,6cm abaixo do nível do mar, com referência ao Marégrafo de Imbituba, SC.

### 3.3.4 Inserção de pontos delimitadores

Antes da aplicação do método interpolador, observou-se a necessidade de inclusão de pontos extras para delimitar a área de estudo. Isso decorre da impossibilidade de acessar profundidades inferiores a 0,5m, que se encontram próximas as margens. Essa limitação é em decorrência do calado da embarcação e do Transdutor de Cerâmica instalado no barco.

A não inclusão desses pontos extras pode impactar negativamente nos processos de interpolação da malha de dados. A inserção desses pontos se deu com a utilização do software *ArcMap* versão 10.2.2, inserindo-se 546 pontos manualmente fazendo o contorno da margem do Canal São Gonçalo, com o auxílio de uma imagem de mapa de fundo georreferenciada. Esta imagem possui georreferencia com resolução de célula raster de 1 m. Também foi atribuído a todos os 546 pontos, profundidades iguais a zero, justamente com o intuito de demarcar a região de interpolação com o valor da cota de referência.

Na figura 11 pode-se conferir a disposição dos pontos inseridos manualmente na área de estudo.

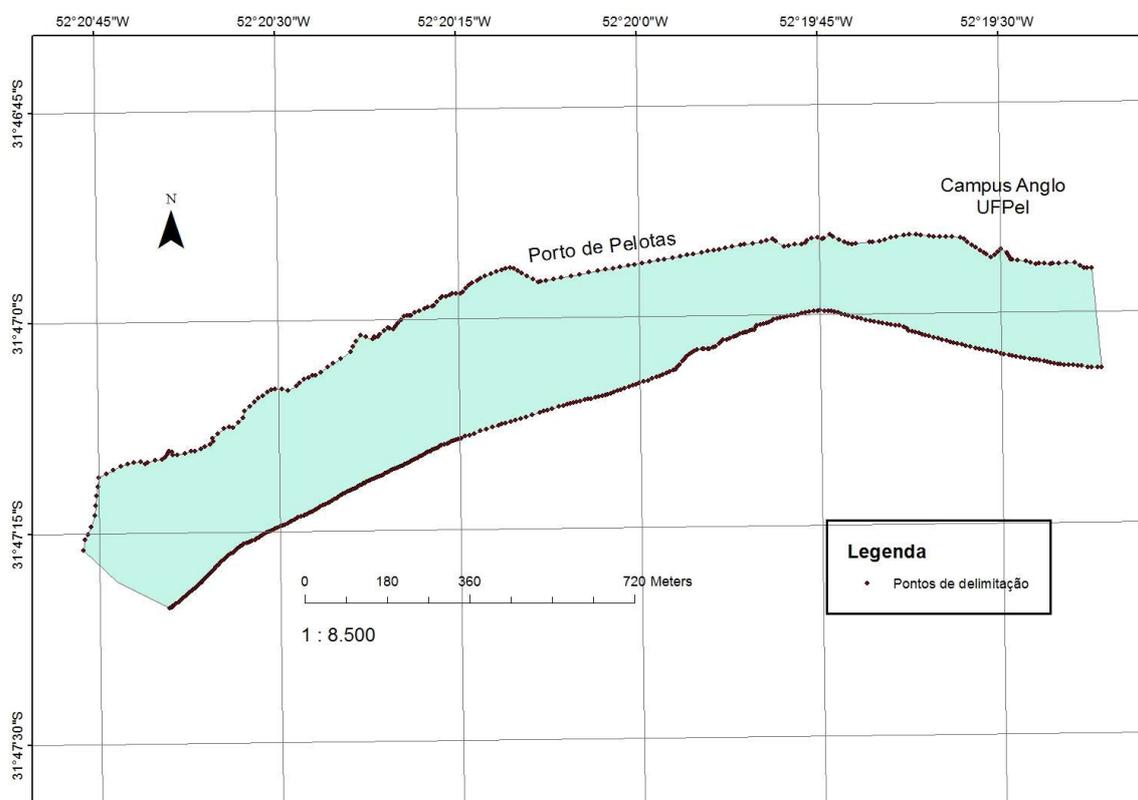


Figura 11 - Representação dos pontos extras inseridos às margens do canal na área de estudo.

### 3.3.5 Identificação de falhas nos dados

Para a identificação de falhas, o procedimento utilizado foi a observação visual das informações obtidas, no caso os dados batimétricos levantados. O objetivo foi identificar inconsistências na malha de pontos, pois tais ocorrências podem gerar tendências na aplicação do interpolador.

Utilizando-se uma planilha eletrônica para organizar os dados de batimetria, mantendo apenas as informações de posição geográfica e profundidade e, posteriormente, executou-se a averiguação visual dos pontos.

### 3.3.6 Aplicação dos métodos de interpolação

Fazendo uso do software *ArcMap* versão 10.2.2, utilizou-se a ferramenta de Geostatistical Analyst (Análises Geoestatísticas), para aplicação dos interpoladores Krigagem Ordinária, Ponderado do Inverso das Distâncias, e Polinômio Local. Utilizando para todos as opções em modo padrão, número de vizinhos mínimos de 2 e máximos de 5, bem como considerando os 4 setores (360°) com ângulo de deslocamento (*offset*) de 45°. Extraíu-se os valores de Erro Quadrático Médio para cada um dos métodos, com o intuito de identificar aquele que melhor se enquadrava para a área de estudo. Após realizada a interpolação na malha de dados com os métodos utilizados, gerou-se um raster com 12 classes e tamanho de célula da ordem de 3,3m, a partir do método que melhor se apresentou para a área de estudos.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Realização das medições

Com o resultado das 4 campanhas batimétricas, obteve-se uma malha com 25024 pontos, cada um possuindo valor de profundidade, latitude e longitude, formando uma malha de pontos. Na tabela 1 estão apresentados os valores de profundidade máxima, mínima e média para cada uma das campanhas batimétricas realizadas.

Tabela 1 – Profundidades máximas, mínimas e médias para cada campanha batimétrica.

Data	Profundidades (m)		
	Máxima	Mínima	Média
15/12/2016	11,23	0,66	6,03
12/01/2017	10,70	0,16	5,83
21/03/2017	11,17	0,61	4,74
04/05/2017	9,61	0,39	5,53

A figura 12, mostra a seguir a malha de pontos obtida com auxílio do software *ArcMap*. Na densidade em que se encontram espalhados os pontos, observa-se a falsa impressão de ser uma linha contínua, porém, os mesmos são pontos intervalados a cada segundo no eixo transversal da calha do rio, bem como cada eixo afastado cerca de 25m do próximo.



Figura 12 - Apresentação da malha de pontos coletados na área de estudo.

## 4.2 Ecossonda SDE-28S

A figura 13 dispõe sobre a forma de apresentação dos pontos pelo software *PowerNav*, resultante da campanha batimétrica do dia 15 de dezembro de 2016. A imagem representa a visualização dos dados após a coleta.

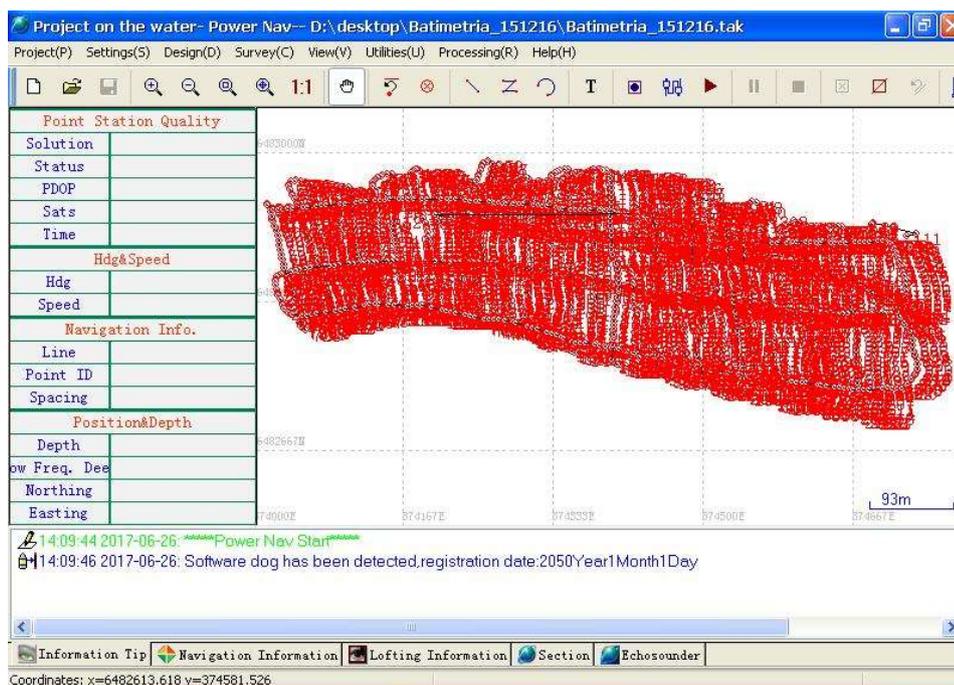


Figura 13 - Apresentação do modo de leitura e recebimento de informações batimétricas coletadas no software *Power Nav*.

Na figura 14 observa-se uma de maneira mais detalhada dos pontos após a coleta, seguindo uma ordem crescente definida pelo software em cada campanha batimétrica. Como já citado, esses pontos também se referem a campanha batimétrica da data 15/12/2016.

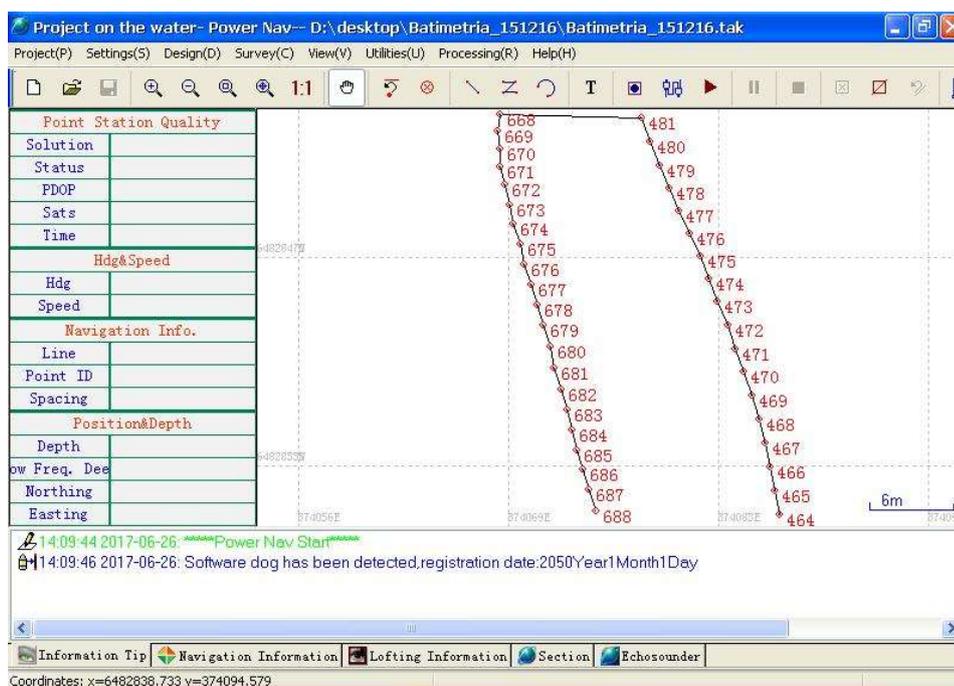


Figura 14 - Detalhe do modo de leitura e recebimento de informações batimétricas coletadas no software *Power Nav*.

O software *EchoSoudar*, na figura 15 apresenta os dados batimétricos no momento da coleta. Em laboratório, é possível repassar o ecograma gerado na coleta em campo.

Após o *Transdutor de Cerâmica* emitir uma frequência para obtenção da profundidade, o *EchoSoudar* registra na forma de gráfico a mesma, representada pela curva plotada no meio da área de gráfico, bem como atualiza em tempo real o campo *Depth* (Profundidade). As linhas verticais apresentadas representam os intervalos de coleta de dados, constando em cada uma delas a informação de profundidade, hora e coordenadas geográficas.

O software registra também, durante o período de coleta de toda a campanha batimétrica do dia, a profundidade máxima e a mínima identificadas.

A imagem a seguir também se refere a dados coletados na data de 15/12/2016.

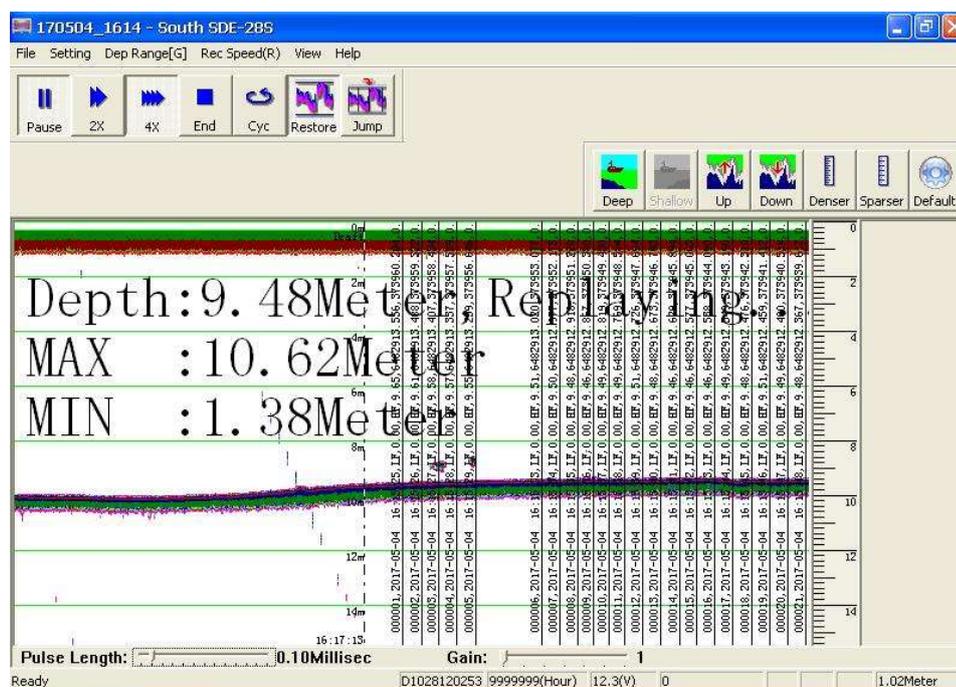


Figura 15 - Apresentação do modo de leitura e recebimento de informações batimétricas coletadas no software *EchoSoudar*.

### 4.3 Aferição da Sonda Ecobatimétrica

Como resultado das atividades de aferição da ecossonda realizadas durante as campanhas batimétricas, obteve-se a tabela a seguir (tabela 2), que apresenta os dados obtidos das leituras com a trena e com a sonda, bem como a diferença encontrada entre as leituras

Também se observa na tabela 2, que na campanha do dia 12 de janeiro de 2017, em uma das duas medidas realizadas, essa apresentou a maior diferença encontrada, que foi da ordem de 10cm entre os valores. Isso pode se justificar devido a ocorrência de fluxos mais intensos no canal durante a realização da leitura, o que poderia ocasionar o arraste da trena e da chumbada. Se considerarmos a profundidade medida próxima a 10m, os 10cm encontrados como sendo a diferença entre a leitura da trena e da ecossonda, podem ser facilmente obtidos devido a esse arraste citado.

Tabela 2 – Valores de leituras de profundidade para aferição da ecossonda.

<b>DATA</b>	<b>LEITURA (m)</b>	
15/12/2016	TRENA	5,40
	SONDA	5,42
	DIFERENÇA	0,02
12/1/2017	TRENA	7,30
	SONDA	7,34
	DIFERENÇA	0,04
	TRENA	9,90
	SONDA	9,80
	DIFERENÇA	0,10
21/3/2017	TRENA	2,61
	SONDA	2,65
	DIFERENÇA	0,04
	TRENA	1,76
	SONDA	1,75
	DIFERENÇA	0,01
4/5/2017	TRENA	8,74
	SONDA	8,76
	DIFERENÇA	0,02
	TRENA	5,40
	SONDA	5,42
	DIFERENÇA	0,02

#### 4.4 Nível d'água durante as campanhas

A tabela 3 a seguir, apresenta os valores de cota do nível d'água do canal, observados para as 4 campanhas batimétricas, juntamente ao valor de Cota Média, de onde extraiu-se a média aritmética entre a cota inicial e cota final observada.

Tabela 3 – Leituras de nível d'água realizadas para cada campanha batimétrica

DATA	LEITURA DE COTA (m)	
15/12/2016	INICIAL	1,02
	FINAL	0,98
	MÉDIA	1,00
12/1/2017	INICIAL	0,99
	FINAL	1,02
	MÉDIA	1,00
21/3/2017	INICIAL	1,00
	FINAL	1,00
	MÉDIA	1,00
4/5/2017	INICIAL	1,02
	FINAL	0,98
	MÉDIA	1,00

Como todas as diferenças obtidas entre cota inicial e final de cada uma das campanhas batimétricas, variou de zero a 4cm de cota do nível d'água, efetuou-se a redução a partir da cota média das campanhas. Porém, em casos em que se observa maiores variações, por exemplo, oscilações de maré, dever-se-á realizar as reduções por intervalos de tempo, ou fazer uso de marégrafos.

#### 4.5 Inserção de pontos delimitadores

Após a adição de 546 pontos à malha original de 25024 pontos, obteve-se o resultado que está apresentado na figura 16, onde o *grid* de pontos resultantes da soma dos dados originais, mais os dados inseridos, resultou em 25570 dados batimétricos georreferenciados.

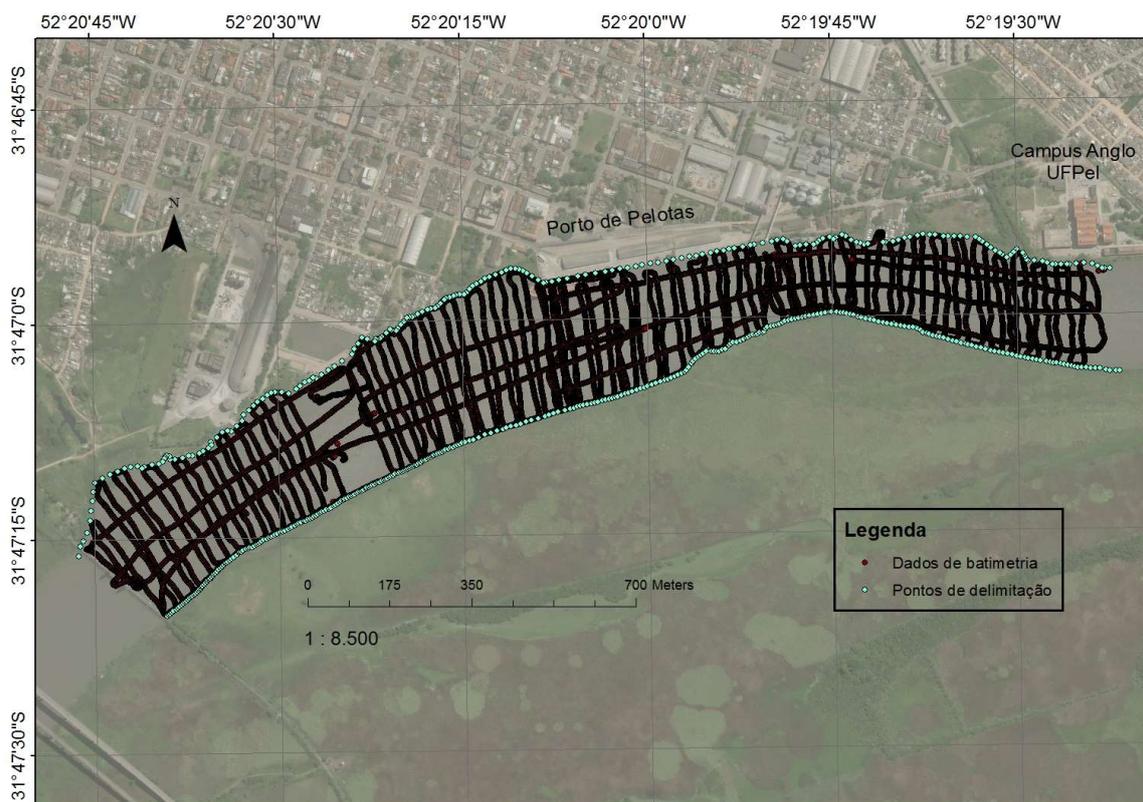


Figura 16 - Resultado da soma dos pontos coletados em campo com os pontos adicionados em software.

A adição dos 546 pontos extras gera melhores resultados na utilização de interpoladores geoestatísticos, pois a falta de pontos delimitadores faz com que a metodologia aplicada busque criar informações e padrões para essas áreas de margem, resultando em falsas informações. Esse efeito é apresentado nas figuras 17 e 18, que apresentam o resultado da interpolação dos dados obtidos para as 4 campanhas batimétricas, sem a delimitação da margem, e a mesma interpolação, porém com pontos de delimitação, respectivamente.

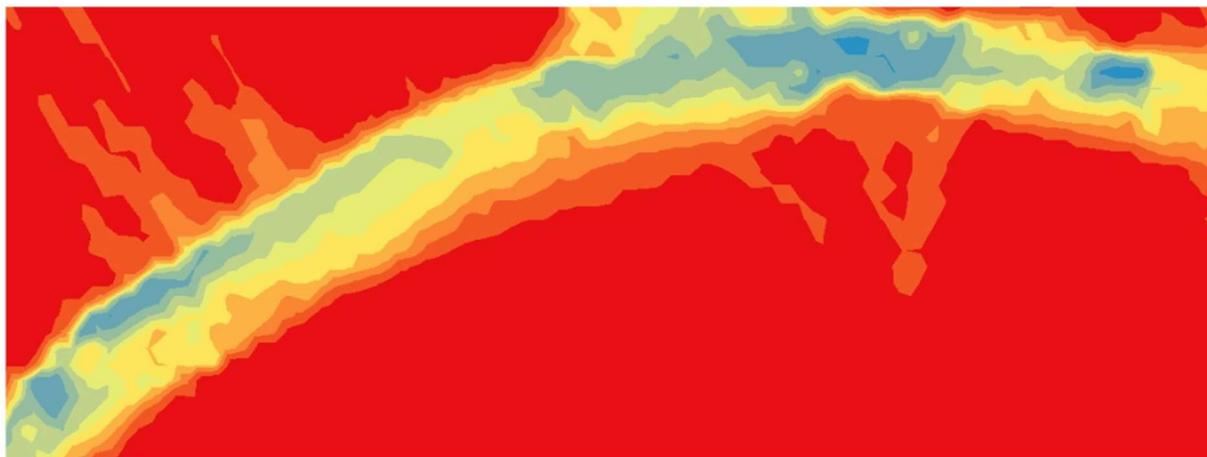


Figura 17 - Resultado de interpolação dos dados obtidos em campo, sem a delimitação de margem.

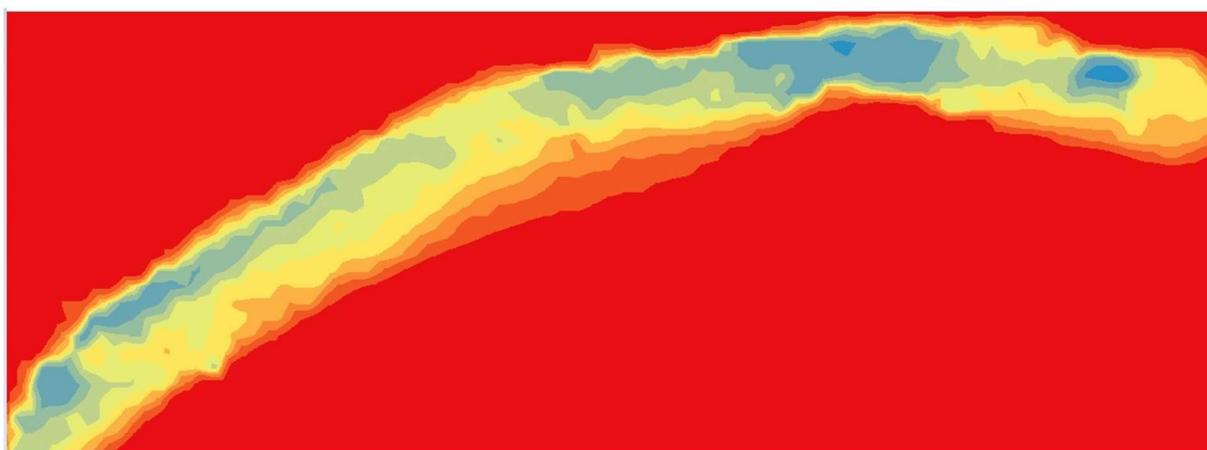


Figura 18 -Resultado de interpolação dos dados obtidos em campo, com a adição dos pontos de delimitação de margem.

Nota-se, ao visualizar as imagens é que a diferença que o mesmo interpolador utilizado impõe. Na figura 17 as informações de profundidade são extrapoladas além da calha principal do canal. Já na figura 18, onde foram inseridos os 546 pontos para a delimitação das margens, os valores de profundidade se concentram dentro da calha do canal, respeitando os limites dos pontos inseridos.

#### 4.6 Identificação de falhas

Como resultado do procedimento de averiguação visual dos dados de batimetria obtidos, identificou-se a existência de apenas 2 pontos com inconsistência em toda a malha de dados, observando-se uma mudança abrupta de profundidades

em um espaço curto de distâncias. Segundo Bulla e Hartmann (2009), o material encontrado no leito do canal São Gonçalo divide-se entre areias fina, média e grossa, silte e lama, o que torna pouco provável essa variação brusca de profundidades.

Na figura 19A apresenta-se a localização das duas inconsistências encontradas na malha de pontos, sendo que na figura 19B apresenta-se um zoom das inconsistências juntamente da escala de variação de profundidades

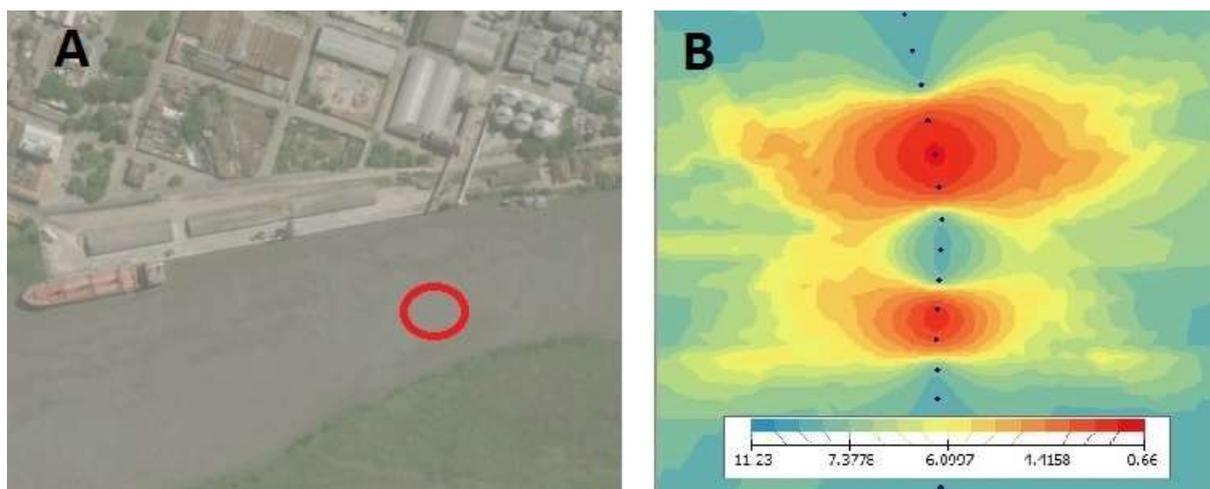


Figura 19 -Localização das inconsistências na malha (A) e vista superior em detalhe das inconsistências (B).

Uma das hipóteses para a ocorrência das discrepâncias pode ser atribuída a instalação de boias na bacia de evolução do Porto de Pelotas, que por vezes rebentam de seus lastros. Esses lastros por sua vez, possuem correntes de metal para segurar essas boias e, essas correntes podem ter gerado algum tipo de interferência na sonda ecobatimétrica e responsáveis pela observação desses valores. Outra hipótese é de que a sonda por si só teve falha de operação nesse momento, gerando os dados inconsistentes.

#### 4.7 Aplicação dos métodos de interpolação

Resultado da aplicação dos métodos de interpolação, obteve-se os valores para Erros Quadráticos Médios (EQM) (tabela 5).

Tabela 4 – Valores de Erro Quadrático Médio para os interpoladores aplicados.

<b>Método utilizado</b>	<b>Erro Quadrático Médio</b>
Krigagem Ordinária	0,27
Ponderação do Inverso das Distâncias (IDW)	0,38
Polinômio Local	0,38

De acordo com ESRI (2017), para ser considerado um mapa batimétricos ideal, o valor de EQM deve ser zero. Com isso, observa-se que o interpolador geostatístico Krigagem Ordinário foi o que melhor se enquadrrou para a área de estudo, obtendo o valor mais baixo de EQM entre os três interpoladores aplicados. Isso concorda com o encontrado por Rodriguez (2015), que encontrou valores de 0,3 para o Erro Quadrático Médio.

Portanto, escolheu-se como mapa resultante do processo de interpolação, o mapa gerado pelo interpolador Krigagem Ordinária, o qual é apresentado na figura 20, sendo esse um mapa raster, com célula de tamanho 3,3x3,3m. O mapa apresenta a variação de profundidades de forma contínua, variando de 11.15m de profundidade até -0.53m de profundidade, considerando como referência o zero da régua linimétrica do Porto de Pelotas. Os valores de 0m até -0.53m podem ser justificados pela redução dos valores de batimetria para a cota de referência utilizada.

Na figura 21, tem-se o mesmo mapa mostrado na figura anterior com a adição de curvas isobáticas.

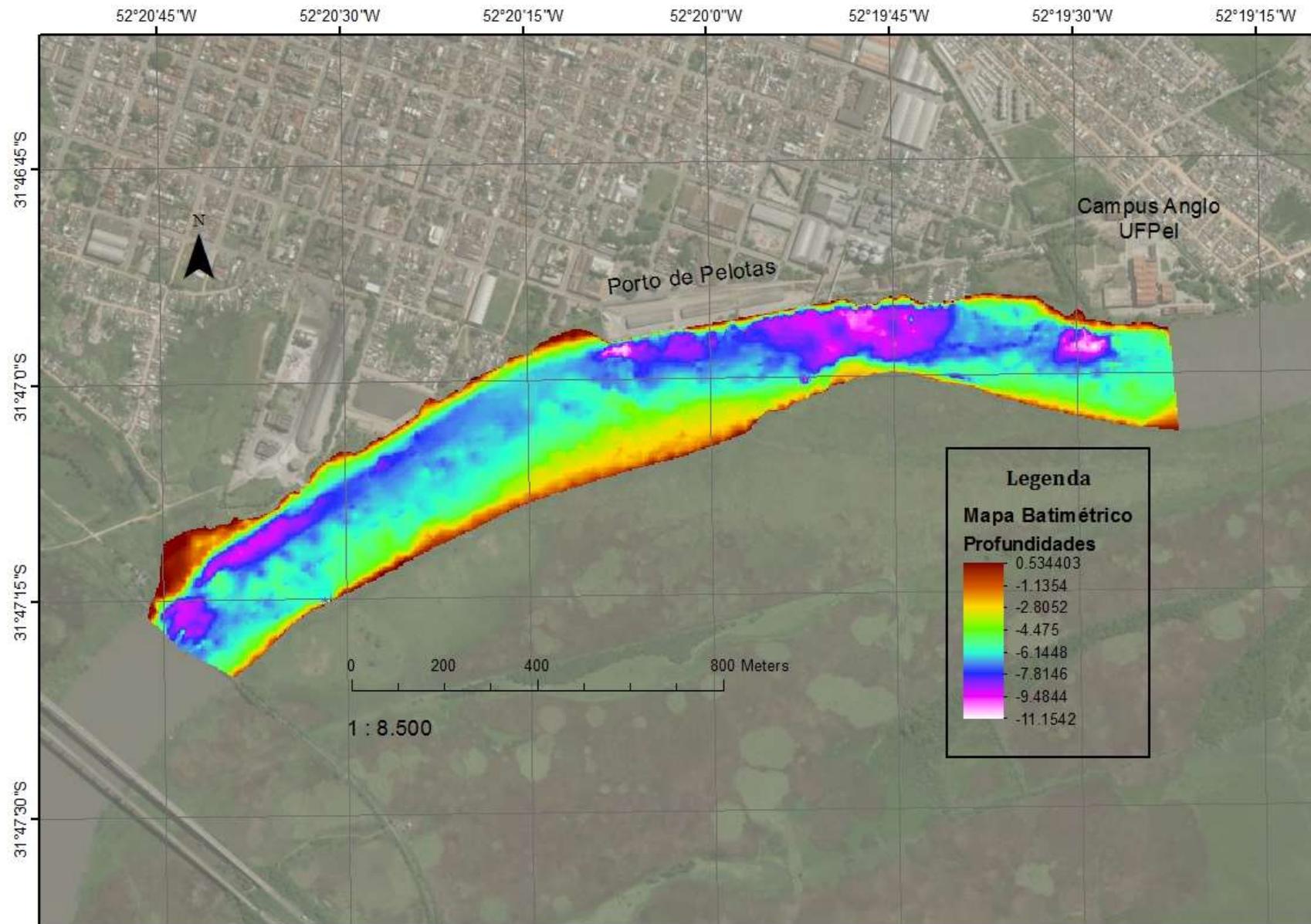


Figura 20 -Mapa batimétrico do Canal São Gonçalo na região do Porto de Pelotas.

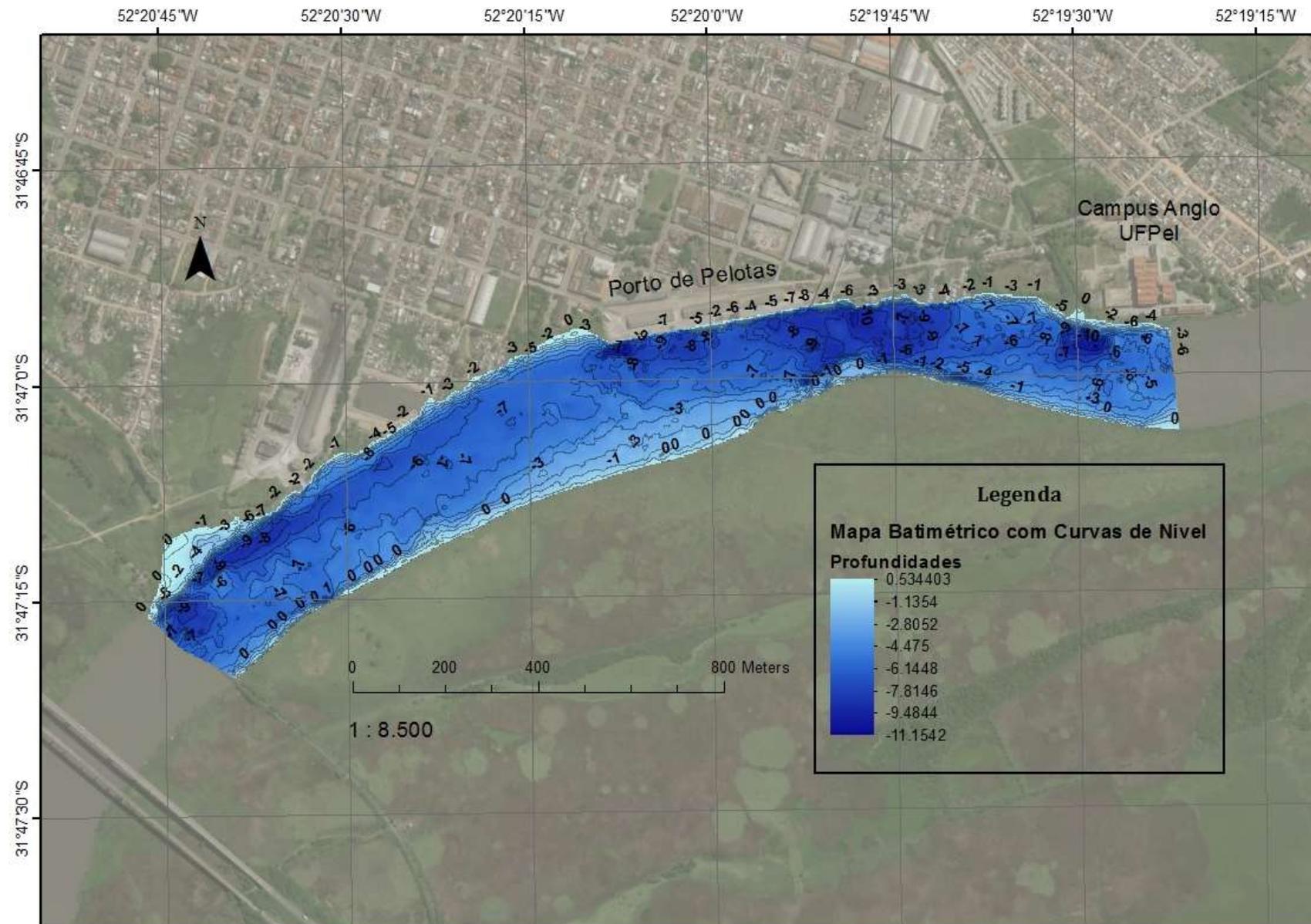


Figura 21 -Mapa batimétrico com adição das curvas isobáticas do Canal São Gonçalo na região do Porto de Pelotas.

Nas figuras 20 e 21, pode-se observar a predominância de profundidades mais elevadas nas proximidades do cais do Porto de Pelotas e em sua bacia de evolução, representados pela coloração lilás na figura 20, e azul mais escuro na figura 21. Bem como nota-se que o Canal São Gonçalo possui em sua maioria, valores médios de profundidade da ordem de 6m, evidenciados pela coloração azul claro na figura 20.

Nota-se também, a existência de uma área com elevadas profundidades na proximidade da região do Campus Anglo UFPel, porção essa que se caracteriza por receber o aporte fluvial do Arroio do Pepino, importante canal de drenagem urbana para a cidade de Pelotas.

#### **4.8 Perfis batimétricos**

Como critério avaliativo, foram gerados cinco perfis batimétricos transversais na área de estudo (figura 22), a fim de observar o comportamento do relevo de fundo da área e comparar os valores de profundidades obtidos nas campanhas batimétricas com os valores estimados pelo interpolador.

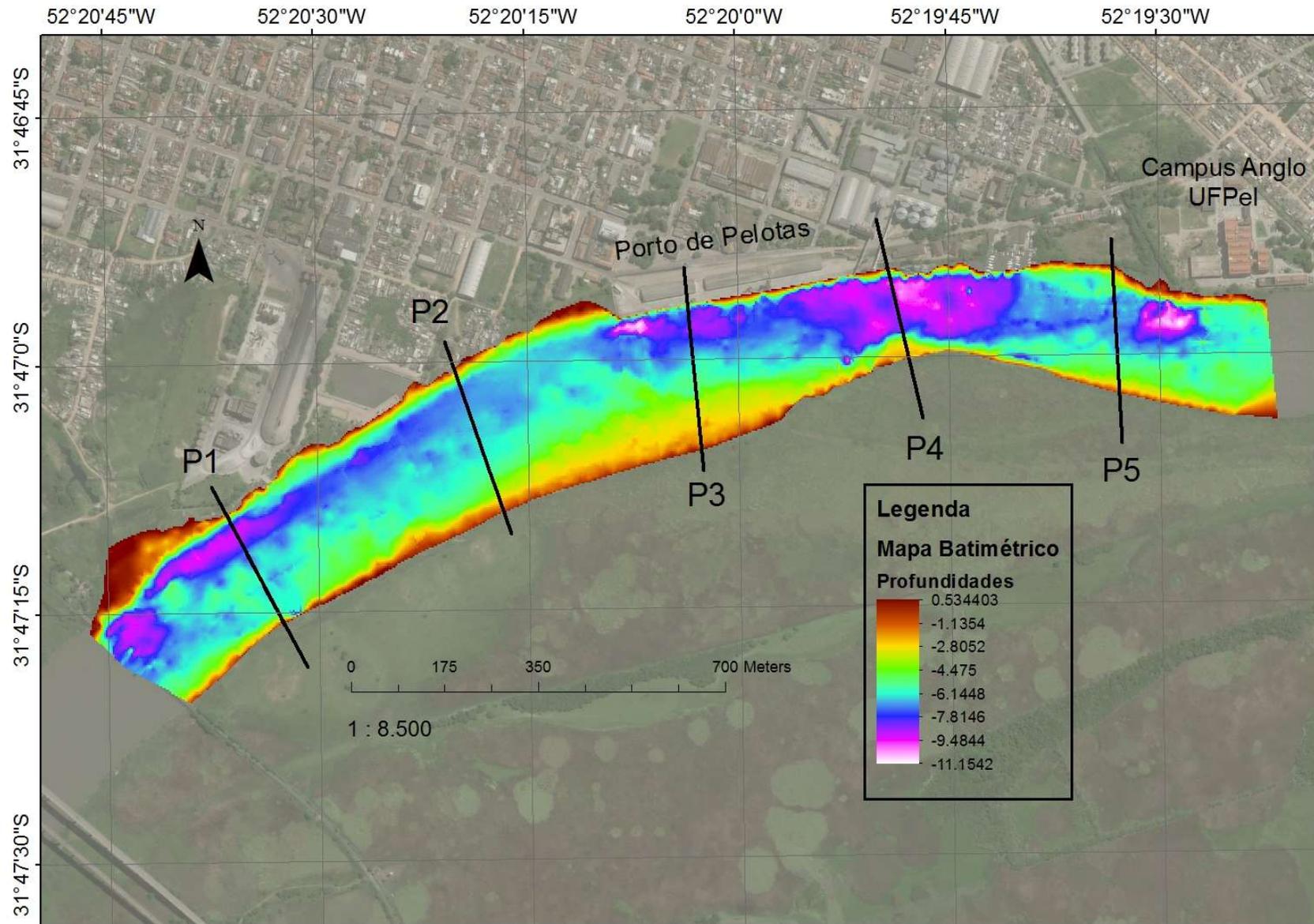


Figura 27 - Mapa batimétrico do Canal São Gonçalo na região do Porto de Pelotas com adição dos perfis batimétricos extraídos.

As figuras a seguir, 23, 24, 25, 26 e 27, apresentam a comparação entre os perfis batimétricos, onde é possível perceber que, na maior parte dos perfis, o valor de profundidades estimadas pela krigagem foi semelhante ao observado no local.

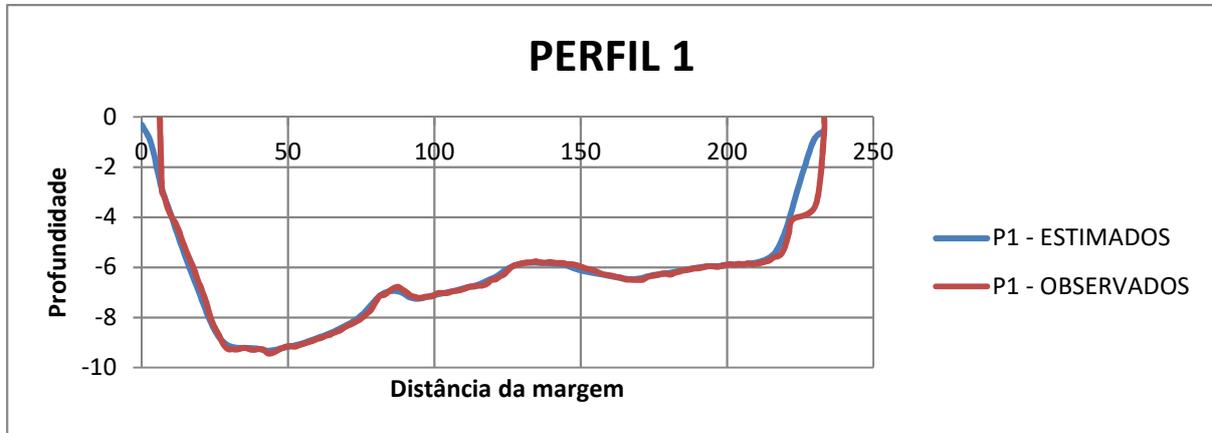


Figura 23 -Perfil batimétrico de número 1 na área de estudos.

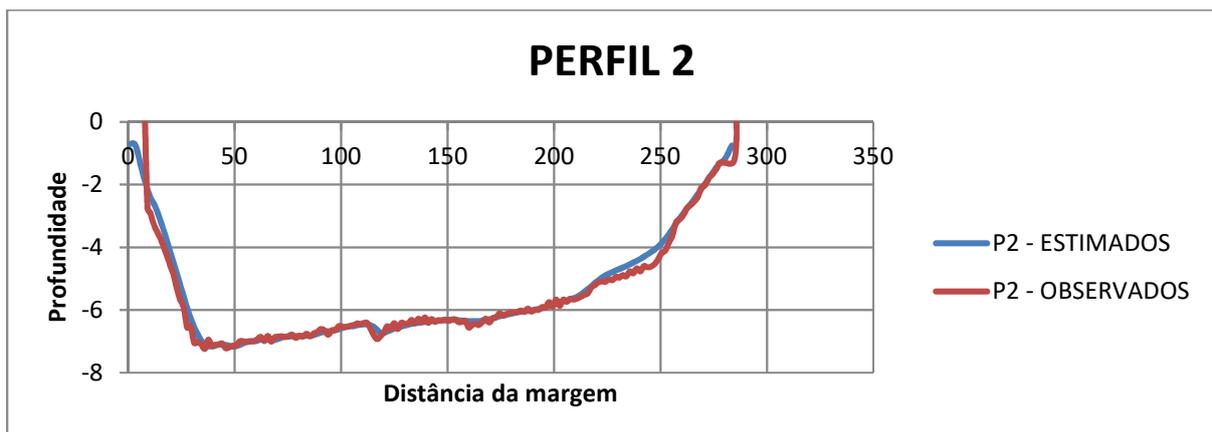


Figura 24 - : Perfil batimétrico de número 2 na área de estudos.

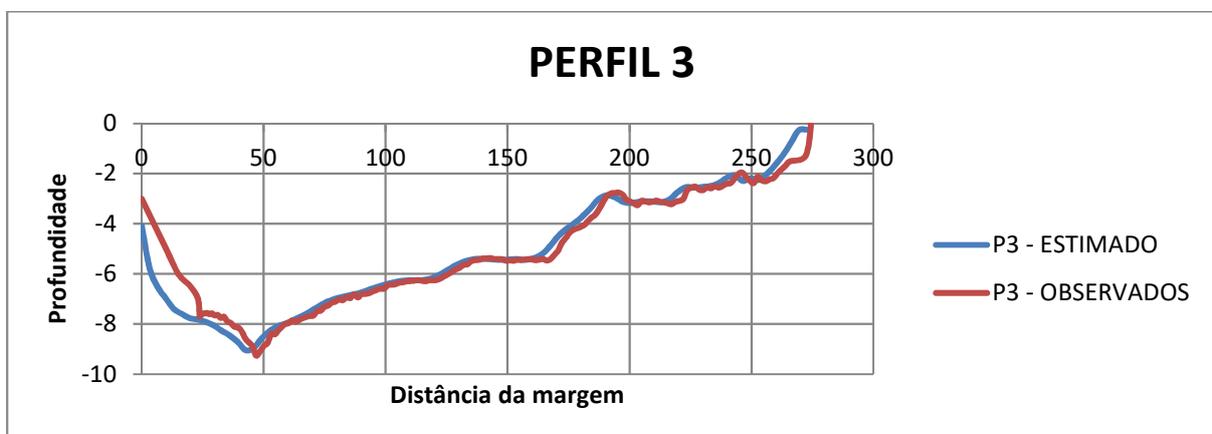


Figura 25 -Perfil batimétrico de número 3 na área de estudos.

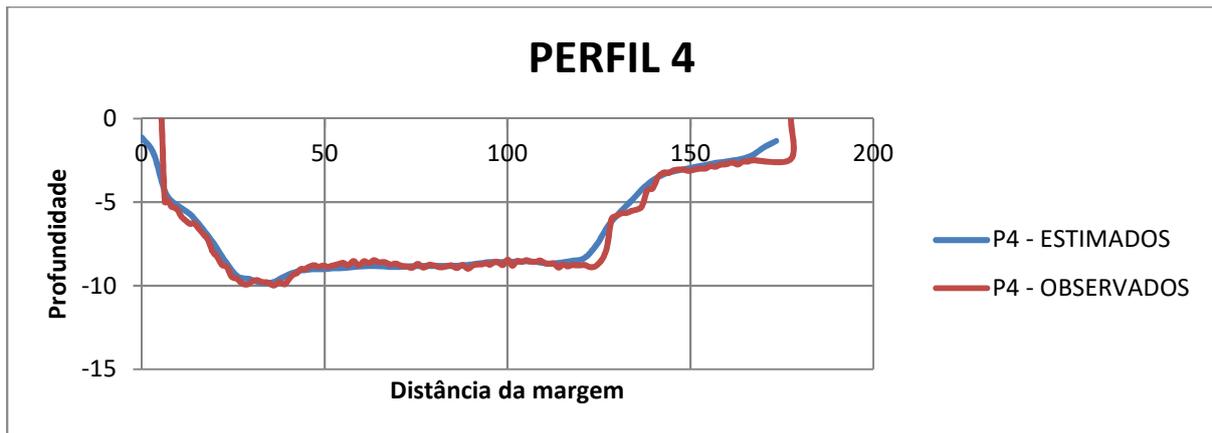


Figura 26 -Perfil batimétrico de número 4 na área de estudos.

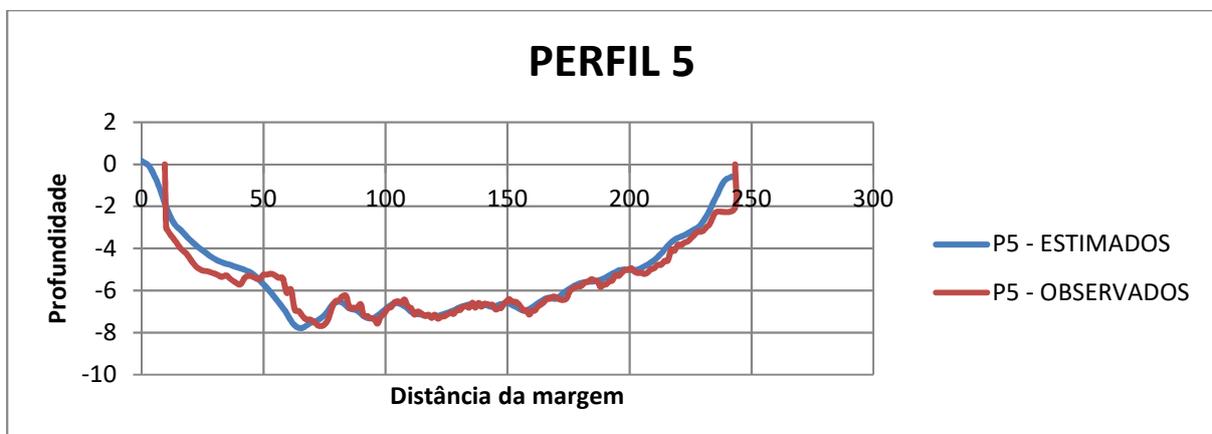


Figura 27 -Perfil batimétrico de número 5 na área de estudos.

## 5 Conclusões

Conclui-se com o presente trabalho que, dentro os métodos de interpolação utilizados para a geração de mapas batimétricos no Canal São Gonçalo, a Krigagem Ordinária mostrou-se mais adequada, tanto pela comparação entre os valores de EQM, como pela proximidade dos perfis plotados ao comparar as informações observadas com as informações estimadas.

Os valores de profundidades exibidas no mapa batimétrico gerado a partir dos processos de interpolação demonstrou-se coerente com os valores encontrados nas campanhas batimétricas, sendo que o valor de profundidade máxima observada foi de 11,23m, e a profundidade máxima estimada foi de 11,15m. A média observada nas campanhas batimétricas, que foi de 5,53m de profundidade, semelhante à média obtida pelo estimador, sendo essa na ordem de 5,64m de profundidade.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012**. Brasília: ANA, 2012.

ALBERTI, A. Hidrovia do Mercosul. **DNIT**, 26 de junho de 2016. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/hidrovias/hidrovias-interiores/hidrovia-do-mercosul>>. Acesso em: 25 de março de 2017.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e gestão de portos e costas**: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. 776p.

ALMEIDA, A.; PERES, F. C. Hidrovia Tocantins - Araguaia: importância e impactos econômicos, sociais e ambientais, segundo a percepção dos agentes econômicos locais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2007. v. 12, n. 2, p. 169–177.

ÁLVARES, M. T.; ÁLVARES, M. T.; FERNANDES, S.; MARIANO, A. C.; PIMENTA, M. T. Monitorização Batimétrica para Gestão de Albufeiras: Estudo Piloto. In: IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Porto Seguro, Bahia, 2000. n. 1, p. 8.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo : Unisinos, 2003. 165 p

BIAGGIONI, M. A. M.; BOVOLENTA, F. C. Balanço energético comparativo para rotas de escoamento de soja. **Engenharia Agrícola**, 2010, v..30, n. 4, p. 587-599.

BIOSFERA, 2014. Estudo Ambiental – Regularização do Porto de Pelotas. 250p.

BOYLE, A. 4500-year-old harbor structures and papyrus texts unearthed in Egypt. **NBC News**, Nova Iorque, 15 de abril de 2013. Disponível em: <[www.cosmiglog.nbcnews.com/\\_news/2013/04/15/17767610-4500-years-old-harbor-structures-and-papyrus-texts-unearthed-in-egypt?lite](http://www.cosmiglog.nbcnews.com/_news/2013/04/15/17767610-4500-years-old-harbor-structures-and-papyrus-texts-unearthed-in-egypt?lite)>. Acesso em: 20 de março de 2017.

BULLA, L. A. S.; HARTMANN, C. Aplicação do QTC SIDEVIEW® na classificação de sedimentos através de imagens de Sonar de Varredura Lateral, num trecho do Canal São Gonçalo, RS, Brasil. **Gravel**. v. 7, n.1, p.19-30, Porto Alegre,. 2009

BURNS, M. D. M. Consequências da barragem eclusa do Canal São Gonçalo para a ictiofauna do Sistema Patos - Mirim. 2010. 148 f..Tese(doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande, 2010.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 87-97, 1997.

CAPÍTOLI, R.R.; BEMVENUTI, C.E. Distribuição do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) na área estuarina da Lagoa dos Patos e Canal São Gonçalo. In: **Anais** do VI Simpósio de Ecossistemas Brasileiros, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 2004.

CAPITOLI, R. R.; BENVENUTI, C. E.; GIANUCA, N. M. Ocorrência e observações bioecológicas do caranguejo *Metasesarma rubripes* (Rathbun) na região estuarina da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, 1977, v. 2., n. 1.; p. 50-62.

CLARK, I.. **Practical geostatistics**. London: Applied Science Publishers, 1979.129 p.

CENTRO DE HIDROGRAFIA MARINHA (Brasil). **Cartas náuticas**. [1963] Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/>>. Acesso em: 22 de agosto de 2017.

COOKE, C. V., MADUREIRA, L. S. P., GRIEP, G. H.; PINHO, M. P. D. Análise de dados de ecossondagem de fundo oriundos de cruzeiros realizados entre Fortaleza (CE) e Chuí(RS) com enfoque na morfologia e tipos de fundo. **Revista Brasileira de Geofísica**, 2007. v. 25, n. 4, p. 443–457.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). **Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). **Soja em números (safra 2015/2016)**. Disponível em: <[www.embrapa.com.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos](http://www.embrapa.com.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos)>. Acesso em: 18 de março de 2017.

ESRI. **Evaluating interpolation results**: comparing models. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical->

analyst/comparing-models.htm>. Acesso em: 15 de julho de 2017.

HARTMANN, C. e SCHETTINI, C. Aspectos hidrológicos na desembocadura da Laguna dos Patos, RS, **Revista Brasileira de Geociências**, 1991, v. 21, n.4, p. 371-377,

HARTMANN, C.; HARKOT, P. F. C. Influência do canal São Gonçalo no aporte de sedimentos para o estuário da Laguna dos Patos-RS. **Revista Brasileira de Geociências**, 1990, Rio Grande, v. 20.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, 1951, v. 52., n. 6: p. 119-139.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R.; MONTEIRO, R. C. **Krigagem ordinário para situações com tendência regionalizada**. DGA, IBGE, UNESP/ Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 06, 12 p., 2002.

LIMA, L.S. **Estimativa de vazões para o Canal São Gonçalo, do sistema lagunar Patos-Mirim -RS, através do Método das Velocidades Indexadas**. 2016, 63p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Hídrica) - Engenharia Hídrica, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016

MARINHA DO BRASIL **NORMAM 25**– Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos, Brasil. Disponível em:<[https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMAM%2025%20REV1\\_0.pdf](https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMAM%2025%20REV1_0.pdf)>. Acesso em: 22 de agosto de 2017.

MEDRONHA, G. D. A. BIGLIARDI, I. M.; SOUZA, M. F.; BONCZYNSKI, R.; DÉCIO JR., R; SUZUKI, L. A.S.; PRÁ, M. D.; COLLARES, G. L.. Avaliação Da Qualidade Da Água Do Canal São Gonçalo-Rs Através Do Índice De Qualidade De Água. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2013. p. 1–8.

MESQUITA, S. M. P. **Modelação da distribuição espacial da qualidade do ar em Lisboa usando sistemas de informação geográfica**.(2009). 119 f.Dissertação (mestrado) - Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, Portugal.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Saúde Pública**, 2001. v. 3, n. 83, p. 370–374. Disponível

em: <[www.fsp.usp.br/rsp](http://www.fsp.usp.br/rsp)>. Acesso em: 14 de março de 2017.

MUELLER, D.S., WAGNER, C.R. **Measuring discharge with acoustic Doppler current profilers from a moving boat: US Geological Survey Techniques and Methods 3A-22**, 72p, 2009.

REBOUÇAS, A. C. Água no Brasil : abundância , desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados**, 2003. v. 13, n. Especial, p. 341–345.

RESCK, R.P.; BEZERRA NETO, J.F. & PINTO-COELHO, R.M.. Nova batimetria e avaliação de parâmetros morfométricos da Lagoa da Pampulha (BeloHorizonte, Brasil). **Revista Geografias**, 2007, vol. 5. (No prelo).

RODRIGUEZ, Rachel R. **Integration of Topographic and Bathymetric Digital Elevation Model using ArcGIS Interpolation Methods**.(2015). . Tese (doutorado).- University of Southern California.

SANTOS, S.. **Aspectos da navegação interior**. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil, 2011.

SIMON, A. L. H.; SILVA, P. F. Análise geomorfológica da planície lagunar sob Influência do canal São Gonçalo –Rio Grande do Sul –Brasil. **Geociências**, v. 34, n. 4, p.749-767, 2015.

SOUTH. **Manual SDE 28-S**. Guangzou, China, 2013. Disponível em:<<http://en.southinstrument.com/userfiles/upload/28S.pdf>>. Acesso em 15 de abril de 2017.

SOUZA, M. F.. **Qualidade da água do Canal São Gonçalo-RS/Brasil: uma avaliação hidroquímica considerando seus usos múltiplos**. 2015.105 f.Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, 2015.

SUPER INTENDÊNCIA DE PORTOS E HIDROVIAS (Rio Grande do Sul). **Canal São Gonçalo**. Disponível em:<[http://www.sph.rs.gov.br/sph2005/portopelotas/canal\\_sg.php](http://www.sph.rs.gov.br/sph2005/portopelotas/canal_sg.php)>. Acesso em: 22 de agosto de 2017.

SUPER INTENDÊNCIA DO PORTO DE RIO GRANDE (Rio Grande do Sul). **O porto de Pelotas**. Disponível em:<[http://www.portoriogrande.com.br/site/sobre\\_porto\\_home\\_pel.php](http://www.portoriogrande.com.br/site/sobre_porto_home_pel.php)>. Acesso em: 02 de abril de 2017.

TERRA, V. S. S. **Variabilidade espacial e temporal de atributos agronômicos em pomar de pessegueiro**. 2012. 103 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pelotas, 2012.

TREVISA. **Transporte de madeira**. Disponível em: <<http://www.trevisa.com.br/index.php/2016/10/transporte-de-madeira/>>. Acesso em: 02 de abril de 2017.

VIERIA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAES, R. F; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 2-54.

WAGNER, M. **Thermal analysis in practice**. Mettler-Toledo, 2009.