



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
OCEANOGRAFIA
FÍSICA QUÍMICA E GEOLÓGICA



**INFORMAÇÕES OCEANOGRÁFICAS DO ESTUÁRIO DA
LAGUNA DOS PATOS AVALIADAS POR GEOPROCESSAMENTO**

Rosa Maria Piccoli da Cunha

Orientador: Prof. Dr. Carlos Hartmann

Co-Orientador: Prof. Dr. Lauro Julio Calliari

Tese de doutorado apresentada como requisito
para obtenção do título de Doutor em
Oceanografia Física Química e Geológica

Rio Grande – 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Carlos Hartmann
Orientador e Presidente da Banca
FURG – PPGOFQG

Prof. Dr. Lauro Julio Calliari
Co-Orientador
FURG – PPGOFQG

Prof. Dr. Ricardo Ayup Zouain
UFRGS - CECO

Prof. Dr. Carlos Roney Tagliani
FURG - PPGE0

Prof. Dr. Tabajara Lucas de Almeida
FURG

(...)

Nas cidades, sobretudo no Rio Grande, onde aportamos e que é o único porto marítimo da província, encontra-se melhor produto de vida, conhecem-se regularmente as comidas européias e sua preparação. Sem contar os muitos navios norte-americanos sempre aqui ancorados, principalmente holandeses, ingleses e franceses vêm ao Rio Grande e abastecem a cidade, e através dela a província, em produtos europeus; hamburgueses, e de um modo geral, alemães, são raros, pois esta longa viagem só costuma ser feita em grandes navios de três mastros e estes não podem entrar no Porto, por causa das areias tocadas pelo vento, que vão cada vez mais reduzindo a profundidade da água. Carl Friedrich Gustav Seidler (Suiço-alemão em visita a RG em 1826 e 1827)

Dedico esta tese ao meu esposo Paulo e meus filhos Thiago e Vanessa, por estarem sempre presentes e me estimulando, e aos meus pais que com certeza estariam imensamente felizes por esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer imensamente a todas as pessoas que contribuíram de alguma maneira para a elaboração desta tese.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Hartmann a quem muito admiro pela sua integridade, seriedade e dedicação ao trabalho, pela sua disposição constante em ajudar.

Ao Prof. Dr. Lauro Julio Calliari, meu co-orientador que nesta jornada foi o pilar de sustentação para a construção do trabalho, pelo apoio nos momentos mais tumultuados, e pelo grande conhecimento sempre entusiasta em ensinar.

Aos professores Carlos Ronei Tagliani e Tabajara Lucas de Almeida pelos conselhos e apoio.

Ao Allan, Antiqueira, Christian Henriquez e Christian Ferreira pelo compartilhamento de conhecimentos das geotecnologias e sedimentologia.

Ao Prof. Luiz Niencheski que me abriu as portas do curso de Oceanografia, um professor paciente e empolgado com o “ensinar”, estimulando-me sempre o término do trabalho.

A coordenação do LOG/IO e do PPGOFQG da FURG pelo apoio e infraestrutura para que pudesse desenvolver a Tese.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física Química e Geológica, que contribuíram para o meu conhecimento desta maravilhosa ciência do mar.

Aos colegas e amigos do LOG pela amizade companheirismo, parceria e ajuda. Antiqueira, Bulla, Christian, Allan, Rafael, Juliana, Fred, Miguel, Clabisnei e Manuel, vocês foram a equipe perfeita que eu poderia encontrar para me sustentar.

Aos que trabalharam comigo na realização das etapas deste trabalho, em especial aos estagiários: Katsue, Ilvania, Magno.

Aos meus colegas do CTI por viabilizarem a minha liberação das atividades de ensino.

As minhas amigas Tânia, Patrícia, Fábria, Carolina, Franciane e Priscila que estavam sempre me lembrando que tudo passa rápido e no final vale a pena (o mesmo digo a elas).

Ao meu irmão Prof. Dr. Humberto Camargo Piccoli com quem sempre posso contar.

SUMÁRIO
CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

	Pág.
1.1 Introdução	14
1.2 Organização da Tese	15
1.3 Foco da investigação e Justificativa.....	16
1.4 Objetivo geral.....	17
1.4.1 Objetivos específicos	17
1.5 Localização da área de estudo	18
1.6 Aspectos gerais da área.....	18
1.6.1 Geologia e hidrografia.....	18
1.6.2 Classificação do estuário da Laguna dos Patos.....	20
1.6.3 Geomorfologia do fundo do estuário	23

CAPÍTULO 2
MATERIAIS E METODOS

2.1 Materiais.....	25
2.1.2 Informações disponíveis.....	25
2.1.2.1 Molhes e Barra de RG.....	25
2.1.2.2 Oceanografia geológica e parâmetros ambientais.....	27
2.2 Métodos.....	28
2.2.1 Dados históricos dos molhes e da Barra de RG.....	29
2.2.2 Sedimentologia.....	29
2.2.2.1 Análise Fatorial Modo-Q.....	30
2.2.2.2 Implementação da AFMQ nos dados de sedimentologia.....	32
2.2.3 Dados ambientais e Material em Suspensão.....	39
2.2.4 Geoprocessamento e espacialização dos dados.....	39
2.2.5 A base de dados.....	42
2.2.5.1 Metodologia de construção do Banco de Dados Oceanográficos do Estuário da Laguna dos Patos.....	44
2.2.5.2 Modelagem do BD.....	45
2.2.5.3 Geração dos dados geográficos espaciais e temporais.....	46
2.2.5.4 Geração dos atributos e implementação do Banco de Dados.....	47
2.2.5.5 Descrição das Tabelas geradas no Access.....	48
2.2.5.6 Estrutura de Dados.....	48
2.2.5.7 Definição das Camadas (<i>Layers</i>).....	49
2.2.6 Análise Geoestatística – Krigagem.....	50

CAPÍTULO 3
NATURAL AND ANTROPIC GEOMORPHOLOGICAL CHANGES
IN THE INLET OF PATOS LAGOON BEFORE AND AFTER ITS FIXATION

3.1 Abstract.....	51
3.2 Introduction.....	52
3.3 Methods.....	53
3.4 Results and Discussion.....	55
3.4.1 Sand spit and coastline evolution.....	55
3.4.2 Evolution of the Rio Grande bar (BRG) e Northern channel (NC).....	58
3.4.3 Volume variations at the Rio Grande bar.....	60
3.4.4 Sedimentation volume between the western and eastern jetties.....	61
3.5 Conclusions.....	62
3.6 Literature Cited.....	63

CAPÍTULO 4	
APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS E ANÁLISE FATORIAL MODO-Q EM SEDIMENTOLOGIA NA CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES DEPOSICIONAIS DO ESTUÁRIO DA LAGUNA DOS PATOS, RS, BRASIL.	
4.1 RESUMO.....	64
4.2 INTRODUÇÃO.....	65
4.2.1 Análise Fatorial na sedimentologia.....	67
4.2.2 Distribuição Espacial dos Dados.....	69
4.3 METODOLOGIA.....	70
4.4 RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	71
4.4.1 Definição dos Membros Extremos (End Members).....	76
4.4.2 Fator 1.....	77
4.4.3 Fator 2.....	78
4.4.4 Fator 3.....	80
4.4.5 Fator 4.....	81
4.4.6 Fator 5.....	83
4.4.7 Contribuição da Batimetria (tipo de sedimento por faixa de profundidade).....	84
4.5 CONCLUSÕES.....	88
4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
CAPÍTULO 5	
PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS DO ESTUÁRIO DA LAGUNA DOS PATOS IMPLEMENTADOS ATRAVÉS DE GEOPROCESSAMENTO	
5.1 RESUMO.....	91
5.2 ABSTRACT.....	92
5.3 INTRODUÇÃO.....	93
5.3.1 Localização da área.....	94
5.4 MATERIAL E MÉTODO.....	94
5.4.1 Material.....	94
5.4.2 Método.....	95
5.4.2.1 Base do Modelo Oceanográfico do SIG.....	95
5.4.2.2 Uso de Geoprocessamento.....	96
5.4.2.3 Estrutura de Dados.....	99
5.4.2.4 Análise Geoestatística – Krigagem (<i>Kr</i>).....	99
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	101
5.6 CONCLUSÃO.....	105
5.7 AGRADECIMENTOS.....	106
5.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
CAPÍTULO 6	
CONSIDERAÇÕES FINAIS	
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	
Anexo I.....	120
Anexo II.....	142
Anexo III.....	163

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	DESCRIÇÃO	Pág.
1.1	Localização da área de estudo.....	18
1.2	Província Costeira do RGS com a Bacia de drenagem da Laguna dos Patos, destacando as sub-bacias SB 85, 86 do rio Jacuí e SB 88 da Mirim.	20
1.3	Esquema geral da dinâmica lagunar, estuarina costeira e fluxos de material. FONTE: Modificado de Hartmann, 1996.....	22
1.4	Mapa da Superfície de Fundo do Estuário. Dados batimétricos obtidos através de mosaico das cartas náuticas B2101, B2102, B2103, B2104, B2105, B2106 (escala 1:25.000) da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.....	24
2.1	a, b e c – Plantas originais desenhadas pelo Eng. Cícero Vassão na escalas 1:400.000(a), 1:20.000(b e c).....	27
2.2	Amostras plotadas num espaço tridimensional. Modificado de Moustafa (1988).....	38
2.3	Modelo de um SIG Oceanográfico para o estuário da Laguna dos Patos, RS.....	43
2.4	Geração do Banco de Dados no <i>Access</i>	45
2.5	Delimitação da área do estuário da Laguna dos Patos. Carta Base DHN 2112 na escala 1:80.000, Projeção Mercator, Datum WGS84.....	47
3.1	Location of the System of Rio Grande's Bar. Inlet of Patos Lagoon. RS. Brazil.....	52
3.2	Profiles between the jetties of BRG.....	55
3.3	Coastline changes before (a), during (b) and after (c) jetties' construction, from 1885 to 1956.....	57
4.1	Estuário da Laguna dos Patos	66
4.2	Teste Scree.....	71
4.3	abcde - Histogramas representativos dos Escores rotacionados para os fatores 1, 2, 3, 4 e 5.....	74
4.4	abcde - Diagrama de Shepard representativos dos fatores 1, 2, 3, 4 e 5...	75
4.5	abcde - Diagrama de Pejrup representativos dos fatores 1, 2, 3, 4 e 5.....	76
4.6	Curvas Acumuladas representativas dos membros extremos – F1-Amostra 172; F2-Amostra 46; F3- Amostra 261; F4- Amostra 176; F5- Amostra 44.....	77
4.7	Krigagem das amostras representativas do Fator 1.....	78
4.8	Krigagem das amostras representativas do Fator 2.....	79
4.9	Krigagem das amostras representativas do Fator 3.....	80
4.10	Krigagem das amostras representativas do Fator 4.....	82
4.11	Krigagem das amostras representativas do Fator 5.....	83
4.12	Fator predominante em cada zona.....	84
4.13	Representação em 3 dimensões do fundo do estuário através de uma Imagem ETM/Landsat 7 de 24_02_2000, B723, 221/82.....	86
5.1	Localização da área de estudo. FONTE: Google Earth, e grade cartográfica em UTM do detalhe da área do estuário da Laguna dos Patos através do recorte da Imagem ETM/Landsat 7 2000. B423, 221/82.....	95
5.2	Delimitação da área do estuário da Laguna dos Patos tendo como base a carta DHN 2112 na escala 1:80.000, Projeção Mercator, Datum WGS84 e localização das estações dos Cruzeiros MS I, II e III realizados entre 1979 a 1993.....	98
5.3	Exemplo de Mapa com isolinhas de MS e Salinidade de superfície, CR MS I, FASE II. FONTE: Hartmann, 1982.....	102

5.4	abcdef - Análise geoestatística de <i>Krigagem</i> para os dados de todos os Cruzeiros da Fase II, MS no Outono superfície (a), meio (b) e fundo (c), no Inverno superfície (d), meio (e) e fundo (f).....	104
5.5	abcdef - Análise geoestatística de <i>Kr</i> para os dados de todos os Cruzeiros da Fase II, Salinidade no Outono superfície (a), meio (b) e fundo (c), no Inverno superfície (d), meio (e) e fundo (f).....	104

LISTA DE TABELAS

TABELA	DESCRIÇÃO	Pág.
4.1.	Tabela dos Autovalores	71
4.2	Matriz dos Escores Fatoriais após rotação Varimax.....	72
4.3	Membros extremos.....	76
4.4	Percentagem de Cargas Fatoriais em cada Zona de Transição	85
5.1	Tabelas de dados formatadas no <i>ACCESS</i>	98

RESUMO

Resultados das pesquisas oceanográficas desenvolvidas no estuário da Laguna dos Patos das últimas décadas foram processadas utilizando as novas ferramentas de TI (tecnologias da informação), tendo por base as geotecnologias disponíveis entre elas os Sistemas de Informações Geográficas, que possibilitam o armazenamento, processamento, análise e recuperação de dados e na elaboração de uma Base de dados. Das informações disponíveis foram selecionados dados obtidos das pesquisas desenvolvidas sobre o tipo de fundo, qualidade da água e de informações históricas sobre as alterações decorrentes da construção dos molhes da Barra do Rio Grande, e através de inter-relações desenvolveu-se um banco de dados oceanográfico. Em todas as informações armazenadas foram aplicadas análises espaciais, geoestatísticas e de geoinformação. Nas amostras de sedimento coletadas do fundo do estuário foi aplicada Análise Fatorial Multivariada através de linguagem de programação específica, sendo posteriormente implementados os resultados no SIG. Cartas antigas da Barra do Rio Grande (BRG) foram digitalizadas e georreferenciadas sendo realizados cálculos de volume dos sedimentos localizados entre os molhes da Barra num período de 1883 a 1956, bem como verificado o deslocamento da Barra. Todas estas informações foram geoprocessadas e utilizadas para obter novos dados os quais podem, num primeiro momento, dar uma nova visão sobre os resultados obtidos através das técnicas convencionais e ao mesmo tempo estarem disponíveis para serem avaliados e utilizados na implementação de novas pesquisas na área sobre a hidrodinâmica e das modificações antrópicas. As variações anuais de volume revelam-se muito sensíveis à variabilidade anual dos agentes hidrodinâmicos, representados pelas correntes de vazantes e movimentos ondulatórios responsáveis pelo aporte e retirada de sedimentos do sistema, evidenciando-se que os fenômenos meteorológicos de El Niño de 1941 e de La Niña em 1917, influenciam respectivamente no aumento e diminuição do volume de sedimentos depositados na extremidade do Canal do Norte (CN) e da BRG. A periodicidade do vento do quadrante norte impõe regimes de vazante, reduzindo a salinidade, enquanto os ventos do quadrante sul no verão e outono propiciam a entrada de água do mar no estuário reduzindo os níveis de Material em Suspensão (MS), principalmente na região próxima ao Canal. Os resultados obtidos através de *Krigagens* mostraram que as concentrações de Material em Suspensão (MS) na superfície da coluna d'água variam entre 5 e 300 mg/l ao norte. Ao sul a concentração média foi de 70 mg/l, sendo as áreas de maiores concentrações de MS são os baixios e bancos, causadas pela ressuspensão de material de fundo, devido a ação das ondas. Também através da Análise Fatorial verificou-se que as regiões de maiores concentrações de

sedimentos finos são os baixios e bancos assim como os sedimentos muito finos como silte e argila encontram-se no fundo do canal, no estuário médio, região de baixa hidrodinâmica mais protegida dos ventos. É nesta região que ocorre o processo de floculação e posterior deposição do sedimento em suspensão. As amostras selecionadas por cada um dos 5 fatores mostraram que as quantidades de silte e argila são mais significativas nas regiões mais profundas dos canais, e na região do estuário médio, enquanto que nas zonas rasas a quantidade de areia é dominante. Nas margens e grandes bancos, existe forte hidrodinâmica provocada pelo regime de ventos, onde por ação de “lavagem” (winnowing), esse processo causa ressuspensão dos sedimentos pela ação das ondas impedindo o depósito de sedimentos finos, mantendo os grãos de areia média. Estas características são observadas no lado leste das Ilhas dos Marinheiros e da Torotama, áreas de constante erosão e na Região de Pelotas a areia média pode ser devido a herança geológica. O aporte de material vindo do canal São Gonçalo também foi identificado nas *Krigagens* de MS e dos sedimentos distribuídos no estuário com altas concentrações junto ao Canal São Gonçalo, ocasionando a formação de pluma de pequenas dimensões na margem oeste do estuário, direcionando-se para o norte quando os ventos são do quadrante sul e para o sul quando os ventos são de NE.

Palavras-Chave: parâmetros oceanográficos, estuário Laguna dos Patos, geoprocessamento.

ABSTRACT

Results of the oceanographic researches developed in the Laguna dos Patos estuary in the last decades were processed using the new mechanic analysis by TI (information technology) and its devices using as a basis the evaluable geo technologies and among then Geographical Information Systems which enable the storage, processing and analysis, and data recovering and also the creation and elaboration of a data basis. Considering the evaluable information from the researches develop on the bottom type, water quality and historical information on the occurring changes during the construction of the Bar of Rio Grande (BRG) jetties, specific data obtained was selected to develop an oceanographic data basis based on the inter-relation between those elements. Spacial, geostatistic and geoinformation analysis were applied in all the stored information gathered. In the sediments samples gathered in the bottom of the estuary a multivariate factorial analysis was applied using a specific programming language converging the results with the ones obtained by the GIS (Geographical Information System). Ancient BRG charts were digitalized and georeferenced through the realization of volume calculation of the sediments localized between the bar jetties in the period of 1883 up to the year of 1956 as well as the displacement of the bar. The presented information was geoproceted and utilized for the obtainment of new data which – in a first moment – might offer a new vision on the obtained results through conventional techniques and at the same time being available to evaluation and utilization in the implementation of new researches in the anthropic modification and hydrodynamics area. The annual variations of volume are revealed very sensitive to the hydrodynamic agents' annual variability represented by the currents of ebb tides and ondulatory movements responsible by the contribution and retreatment of sediments of the system, being evidenced that the meteorological phenomena of El Niño in 1941 and of La Niña in 1917 respectively influenced the increasing and decreasing of the volume of sediments deposited in the extremity of the Canal of North (CN) and of the BRG. Periodicity of the winds in the northern quadrant impose ebb regimes which reduces the salinity while the winds in the southern quadrant in the summer and in the autumn appease the ocean water flow to the estuary reducing the levels of the Suspended Matter (MS), especially in the region next to the channel. The Kriging shows that the concentration of MS in the water column surface may vary between 5 and 300 mg/l to the north. Considering the southern half, the medium concentration was 70 mg/l in which the biggest concentration of sandbars and shoals is caused by the re-suspension of material in the bottom of the ocean due to the waves' action. Also, through the factorial analysis it was verified that the areas of larger concentrations of fine sediments are the sandbanks and shoals as well as the very fine sediments as sand loam and

clay can be found in the bottom of the channel, in the medium estuary, area of low hydrodynamic protected from the winds. It is in this area that the flocculation process occurs and subsequently the deposition of the sediments in suspension. The samples selected by each one of the 5 factors showed that the amounts of sand loam and clay are more significant in the deepest areas of the channels and in the area of the medium estuary, while in the shallow areas the amount of sand is dominant. In the margins and in the great banks there is a strong hydrodynamic provoked by the regime of winds, in which for winnowing, This process might cause re-suspension of the sediments by the action of the waves inhibiting the deposit of fine sediments maintaining the medium and average sand grains. These characteristics are observed at the east side of the islands of Marinheiros and Torotama, areas of constant erosion. In the Area of Pelotas, the medium and average sand geological inheritance might be owed. The contribution of coming material of São Gonçalo channel was also identified in Krigings of MS and of the sediments distributed close to the estuary with high concentrations close to the channel São Gonçalo, causing the formation of plume of small dimension in the western margin of the estuary, directing itself to the north when the winds came from the southern quadrant and to the south when the winds came from NE.

Keywords: oceanographic parameters, Patos Lagoon estuary, geoprocessing.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

O início da pesquisa oceanográfica realizada pela FURG na região da Laguna dos Patos ocorreu com a implantação do curso de Oceanologia na década de 70. As dificuldades iniciais na captura, análise e armazenamento da informação eram evidentes, e um tanto precárias, por que não se contava com os equipamentos e técnicas disponíveis nos dias de hoje. Esta foi incrementada principalmente a partir do uso da informática, onde os dados são processados por técnicas de armazenamento e controle, permitindo uma análise integrada e onde a principal ferramenta são os SIG - Sistemas de Informações Geográficas. Estes representam no momento, o modo mais adequado para o tratamento de qualquer tipo de informação, como dados de parâmetros oceanográficos tratados nesta tese.

A função do SIG consiste em integrar as informações espaciais obtidas por diferentes fontes como as disponíveis por sensoriamento remoto. O SIG permite criar um modelo do mundo real ao integrar dados de natureza diversa, voltada para uma aplicação particular. O SIG é uma poderosa ferramenta que permite a gestão de dados obtidos anteriormente e ao mesmo tempo integrar a dados atuais.

Nesta tese utilizamos o SIG para introdução da informação existente no formato analógico (mapas e tabelas), transformando-a em código binário, organizada numa base de dados oceanográficos georreferenciados da região do estuário da Laguna dos Patos. Desta forma, a cartografia digital possibilita uma análise mais rápida e precisa das informações. O armazenamento de um grande número de dados num SIG, agiliza e facilita a recuperação, bem como a transmissão e disseminação destes dados através da Internet.

Com base nisso e na possibilidade de realizar novas análises nos dados disponíveis da área foco e da necessidade de implementar o geoprocessamento para a gestão integrada dos resultados das pesquisas existentes, podemos considerar o seguinte problema de investigação: “Como e de que forma o uso dos Sistemas de Informações Geográficas através das técnicas do geoprocessamento, pode contribuir para obter novo cenário e uma visão integrada da oceanografia do estuário da Laguna dos Patos?”

1.2 Organização da Tese

A tese foi elaborada na forma de apresentação de artigos e dividida em 7 capítulos.

No **primeiro capítulo** apresentamos a sua organização, os objetivos, com descrição física da área de estudo e com suas características oceanográficas (físicas, químicas e geológicas), clima e região adjacente relacionando as pesquisas e sua contribuição para o conhecimento da hidrodinâmica e morfodinâmica da região de estudo.

No **segundo capítulo** é feita uma síntese sobre os materiais e dados aqui utilizados bem como as metodologias de coleta, transformação e análise.

O **terceiro capítulo** contém o artigo "*Mudanças geomorfológicas naturais e antrópicas na embocadura da Laguna dos Patos antes e após sua fixação*", publicado no **Journal of Coastal Research (JCR)** N° 56 de Abril de 2009 e que trata da análise histórica das cartas disponibilizadas pelo Porto do Rio Grande.

O **quarto capítulo** diz respeito às informações sobre a sedimentologia do fundo do estuário, coletadas e analisadas em laboratório e que são discutidas utilizando nova abordagem no artigo "*Aplicação de Geotecnologias e Análise Fatorial Modo-Q em sedimentologia na caracterização de ambientes deposicionais do estuário da Laguna dos Patos, RS, Brasil*", a ser submetido a Revista **PESQUISAS da UFRGS**.

No **quinto capítulo** é feita uma análise dos dados oceanográficos obtidos mensalmente sobre estações fixas ao longo do estuário as quais são tratadas e analisadas com esta nova tecnologia e cujos resultados consta do artigo "*Parâmetros Oceanográficos do estuário da Laguna dos Patos implementados através de Geoprocessamento*", submetido a revista **GRAVEL/UFRGS** em abril de 2009.

O **sexto capítulo** trata das **conclusões e recomendações** buscando explicitar as relações entre os resultados obtidos nas análises realizadas e relacionadas nos capítulos anteriores.

No **ANEXO I**, apresenta-se o texto original incluindo tabelas e todas as figuras das quais originou o artigo "*Mudanças geomorfológicas naturais e antrópicas na embocadura da Laguna dos Patos antes e após sua fixação*", o qual foi reduzido em função da limitação de páginas exigidas pela revista.

Nos **ANEXOS II e III**, apresenta-se as Krigagens realizadas com os dados da Fase I dos Cruzeiros MS (Material em Suspensão) realizadas nos softwares GeoMedia 6.0 e Arcview 9.3, respectivamente.

No **CD** em anexo pode-se visualizar o estuário em 3D com acesso ao Software ArcGlobe tendo uma visão global da área de estudo. Encontra-se neste **CD** o texto da Tese, a apresentação do trabalho, o Banco de Dados de Material em Suspensão, Sedimentologia e Plantas da Barra do Rio Grande e a rotina do Matlab gerada para executar a Análise Fatorial Modo-Q.

1.3 Foco da investigação e Justificativa

Normalmente, o estudo de processos costeiros envolve a coleta e análise de dados oceanográficos pontuais ao longo do ambiente. Entretanto, a complexidade envolvida em estudar processos, por exemplo, de transporte de sedimentos em estuários com base em amostragens discretas, sugere a necessidade do uso de novas metodologias e das geotecnologias as quais permitem prever o comportamento destes processos, bem como acompanhar sua evolução no tempo e no espaço. Em geral estas pesquisas foram realizadas principalmente nas décadas passadas, de forma individual, sem inter-relação e integração das informações, pela dificuldade deste tipo de análise e por não existirem as técnicas hoje disponíveis de aquisição, armazenamento e tratamento dos dados.

As técnicas atuais permitem a identificação das características de cada ponto através do desenvolvimento e a ampliação do uso do GPS - Sistemas de Posicionamento Global, o Sensoriamento Remoto e os softwares de SIG. Estas Geotecnologias disponíveis hoje através do geoprocessamento permitem a representação dos dados de forma integrada, com a possibilidade de obtenção de novas informações. Desta forma as informações do ambiente estuarino podem ser processadas e re-analisadas de forma a construir um novo cenário.

Procurando conhecer aspectos Oceanográficos do estuário da Laguna dos Patos, a FURG, bem como outras instituições nas últimas décadas, desenvolveram trabalhos de pesquisa, com financiamento próprio ou do Governo que de certa forma alcançaram seus objetivos. Estes trabalhos, na sua maior parte, foram disponibilizados ao público sob a forma de relatórios impressos, em apresentações nos Simpósios e Congressos, bem como em publicações técnicas e revistas. A quantidade de informação gerada é muito grande e parte destes dados se encontra arquivada por falta de meios de divulgação. Neste sentido, e com a disponibilidade

das novas tecnologias proporcionadas pelas técnicas de geoprocessamento, busca-se processar parte destas informações sob uma nova ótica, que é a de criar um modelo de banco de dados e a partir dele, obter novas informações as quais podem ser disponibilizadas ao público em geral, facilitando o gerenciamento da informação.

1.4 Objetivo geral

Analisar o comportamento histórico-temporal de variáveis geomorfológicas, geológicas e ambientais do estuário da Laguna dos Patos a partir de técnicas modernas de geoprocessamento.

1.4.1 Objetivos específicos

1. Desenvolver metodologia para padronizar informações históricas da construção dos molhes da Barra do Rio Grande, e dos dados oceanográficos das pesquisas realizadas na área do estuário da Laguna dos Patos, a partir de geotecnologias;

2. Caracterizar as variações batimétricas-morfológicas temporais da região de inter-relação estuário-plataforma incluindo a Barra do Rio Grande durante o período compreendido entre 1883 e 1956 procurando associar as mesmas às mudanças nos regimes hidrodinâmicos ocorridos no período;

3. Avaliar a evolução da linha de costa da desembocadura da Laguna dos Patos e a variação de volume dos sedimentos no Canal do Norte e da Barra do Rio Grande (BRG), antes e depois da construção dos molhes no período de 1883 a 1956, visando estabelecer possíveis relações entre as mudanças morfológicas e volumétricas com os padrões hidrodinâmicos e climatológicos;

4. Avaliar se a estatística multivariada aliada à geoestatística e outras técnicas de geoprocessamento aperfeiçoam a representação e análise de informações ambientais como sedimentologia, material em suspensão, temperatura, salinidade e transparência da água e verificar seu comportamento, com base em pacotes de programas de geoprocessamento onde é possível realizar procedimentos estatísticos.

1.5. Localização da área de estudo

A região de estudo encontra-se no Sul da costa Leste do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul (RGS). O Estuário da Laguna dos Patos onde esta laguna deságua no Oceano Atlântico, tem como referência ao Norte a Ilha da Feitoria, a leste a cidade de São José do Norte, a Oeste a cidade de Rio Grande, e ao Sul a Barra do Rio Grande (Fig. 1.1). É nesta região onde se situam as principais modificações na qualidade da água e de capital importância como ambiente (HARTMANN E SCHETTINI, 1991), e onde se concentrou a grande maioria dos trabalhos de pesquisa sobre os mais variados aspectos da Oceanografia, objeto de análise deste trabalho.

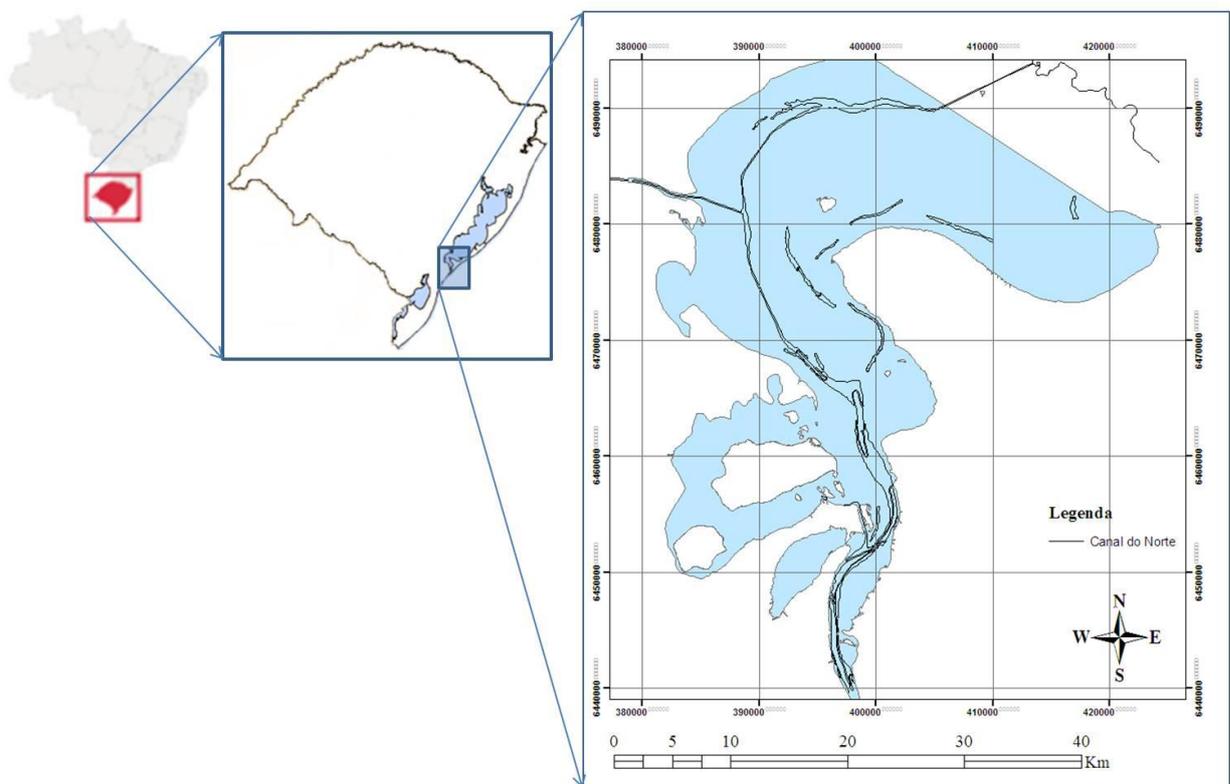


Figura 1.1. Localização da área de estudo.

1.6 Aspectos gerais da área

1.6.1 Geologia e hidrografia

Dentre as áreas costeiras do litoral brasileiro destaca-se a Província Costeira do Rio Grande do Sul, que se estende de Torres no Brasil até a La Coronilha no Uruguai. É, fisiograficamente, uma região arenosa onde se situa uma quantidade considerável de corpos d'água, como lagunas, lagoas e estuários. A bacia de Pelotas, é um segmento da margem

continental brasileira situada entre o lineamento Oceânico de Florianópolis ao Norte (28° S) e o lineamento Oceânico do Chuí ao Sul (33° S). Esta bacia sedimentar apresenta uma combinação de características estruturais e estratigráficas, que a distinguem marcadamente dos demais segmentos da margem continental brasileira (ASMUS, 1983).

Nesta região situam-se dois dos maiores corpos de água da América do Sul, a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim. Estes corpos de água com áreas respectivamente de 10.360 km² e 3.749 km², comunicam-se através do Canal São Gonçalo e suas águas fluem para o Oceano Atlântico através do Canal do Rio Grande, por onde entram as águas marinhas.

A Planície Costeira apresenta diferentes tipos de solos e formações sedimentares de diversas origens ao longo de seus 90 km de largura (em média; sentido leste-oeste), sendo constituída pela Bacia de Pelotas, apoiada sobre um embasamento composto pelo complexo cristalino Pré-cambriano e pelas sequências sedimentares e vulcânicas, paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná (VILLWOCK E TOMAZELLI, 1995). Estas formações sedimentares encontram-se muito bem conservadas e, apesar da grande dinâmica da superfície, estão ocupadas por dezenas de corpos lagunares de tamanhos variados que possuem uma sedimentação fina intensa (GODOLPHIM, 1976).

Considerando as áreas cobertas por água destacamos a região de transição entre a Laguna dos Patos e o Oceano Atlântico que devido ao encontro das águas marinhas e doces formam um ambiente estuarino, rico em fauna e flora, onde ocorrem processos dinâmicos oceanográficos intensos e de uso por ação antrópica que remontam do início do século passado.

Um sistema estuarino recebe sedimentos de fonte marinha e fluvial, com fácies influenciadas por maré, ondas e processos fluviais, contribuindo significativamente na composição sedimentar dos sistemas costeiros e em sua própria estrutura. Estes ambientes são complexos onde a circulação, processos de mistura e estratificação da salinidade dependem da geometria da região, da descarga de água doce, da maré, da circulação da região costeira adjacente e do vento.

A zona externa, central e interna de um estuário está intrinsecamente relacionada às características do regime de energia, tipo de sedimento e morfologia. O regime hídrico (Fig. 1.2) do sistema Laguna dos Patos/Mirim é regido pelo conjunto de rios, lagos e arroios que fazem parte de uma imensa bacia de drenagem que interagem com Oceano Atlântico por uma

única abertura no canal do Rio Grande por entre os molhes da Barra (Fig. 1.1). A maior parte do material sedimentar que aporta ao estuário e a zona costeira é proveniente deste sistema transportado na sua grande maioria em suspensão. Parte do material é erodido do leito lagunar através da ação de ondas provocadas pelo vento, gerando o regime de circulação do sistema Patos de acordo com HERZ (1977).

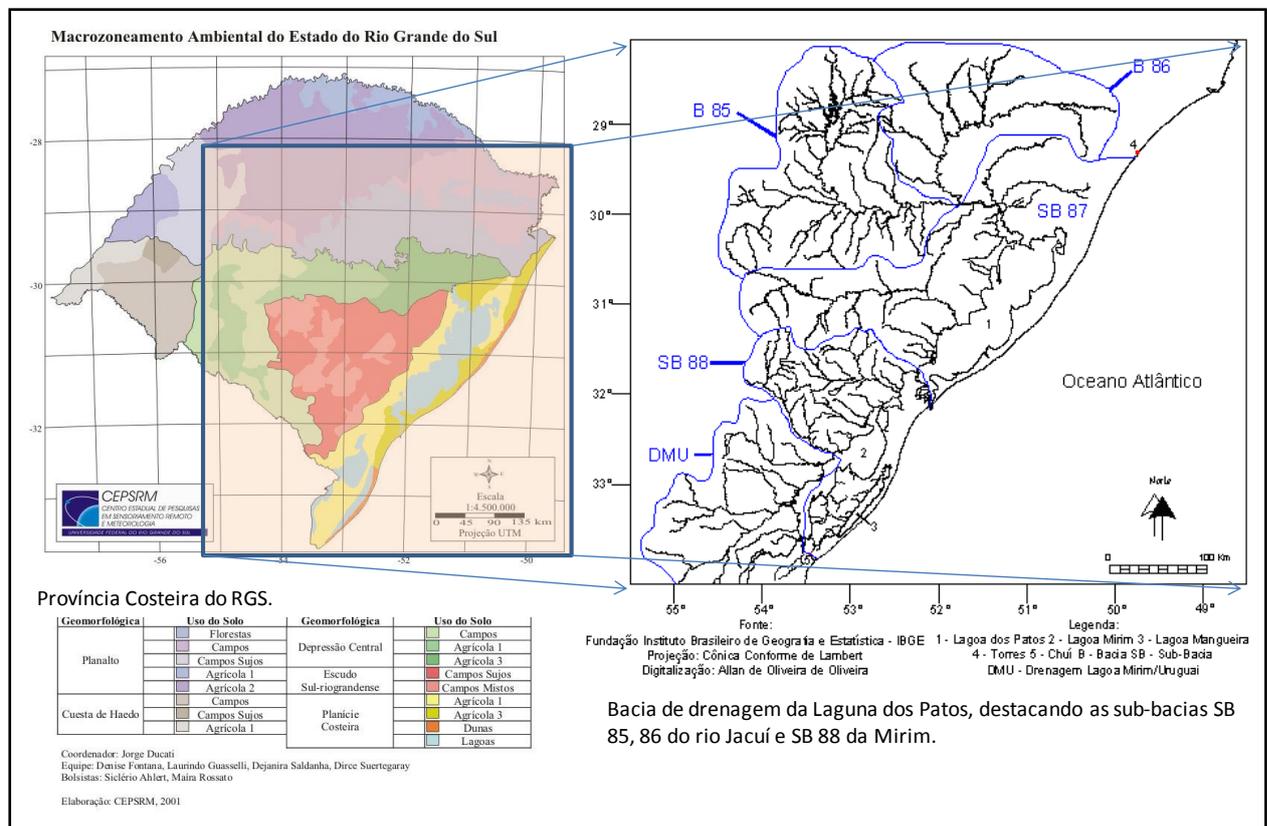


Figura 1.2. Província Costeira do RGS com a Bacia de drenagem da Laguna dos Patos, destacando as sub-bacias SB 85, 86 do rio Jacuí e SB 88 da Mirim. FONTE: CEPSRM e LOG-FURG.

1.6.2 Classificação do estuário da Laguna dos Patos.

A classificação das áreas de transição é uma constante preocupação dos pesquisadores que tratam destes ambientes, a região da desembocadura da Laguna dos Patos, é um destes locais. Segundo FAIRBRIDGE (1980), de acordo com sua geomorfologia a desembocadura da Laguna dos Patos pode ser classificada como do tipo "Estuário de Planície Costeira" ou como "Estuário de Barreira". KJERFVE (1989) denominou o estuário da Laguna dos Patos como sendo do tipo "estrangulado", porque considera a área como uma laguna estreita e comprida, composta por células elípticas conectadas entre si e com um único canal de conexão com o mar, longo e estreito. HARTMANN (1991) com base nos valores de salinidade obtidos mensalmente classificou o estuário na primavera como sendo do tipo de cunha salina,

parcialmente estratificado ou sem estuário; no verão do tipo verticalmente misturado; no outono como verticalmente misturado e parcialmente estratificado e no inverno como altamente estratificado ou sem estuário. Este autor verificou que estas situações podem mudar rapidamente (questão de horas), decorrentes principalmente das condições meteorológicas na região da desembocadura, como também já havia sido mencionado por PAZ, 1985.

Na tentativa de obter uma classificação para a área considerando todos os tipos de parâmetros, HARTMANN (1996) propõe uma classificação que varia de acordo com o parâmetro considerado. No diagrama da Figura 1.3, adaptado de Hartmann (1996) podemos visualizar um esquema geral da dinâmica lagunar, estuarina e costeira e fluxos de material na Laguna dos Patos que são considerados na classificação do estuário.

Num sistema estuarino os regimes de fluxo estão relacionados aos desníveis que ocorrem no interior da laguna e na embocadura da zona costeira. Dentre os parâmetros que mais influenciam estão os ventos, que de forma direta contribuem sobre a dinâmica das marés e na ocorrência das correntes do sistema lagunar-estuarino. De forma geral os ventos de NE tendem a baixar o nível do mar na Barra, impelindo as águas da laguna para o Canal do Norte e ocasionando o escoamento das mesmas em direção ao mar (regime de vazante). Os ventos de SW e SE, pelo contrário, elevam o nível do mar na Barra, impelindo a água do sistema lagunar para o interior e formando uma corrente do mar para a laguna (regime de enchente) (CALLIARI, 1980).

Além do vento, outros parâmetros devem ser considerados no estudo da Oceanografia da área como precipitação, descarga fluvial, salinidade os quais estão relacionados com os padrões de ventos na Laguna dos Patos que atuam de modo integrado nas condições predominantes do estuário (COSTA e NOGUEIRA, 2003). Assim uma elevada descarga fluvial associada com ventos do quadrante NE determina uma condição preponderante de água doce no estuário, enquanto um baixo aporte fluvial associado com vento do quadrante sul, resulta numa condição preponderante de água marinha. Entre estes dois extremos, ocorrem situações intermediárias formada pela presença concomitante de água marinha sub-superficial e fluvial superficialmente, caracterizando uma situação de estratificação vertical (HARTMANN, 1996; NIENCHESKI e BAUMGARTEN, 1998).

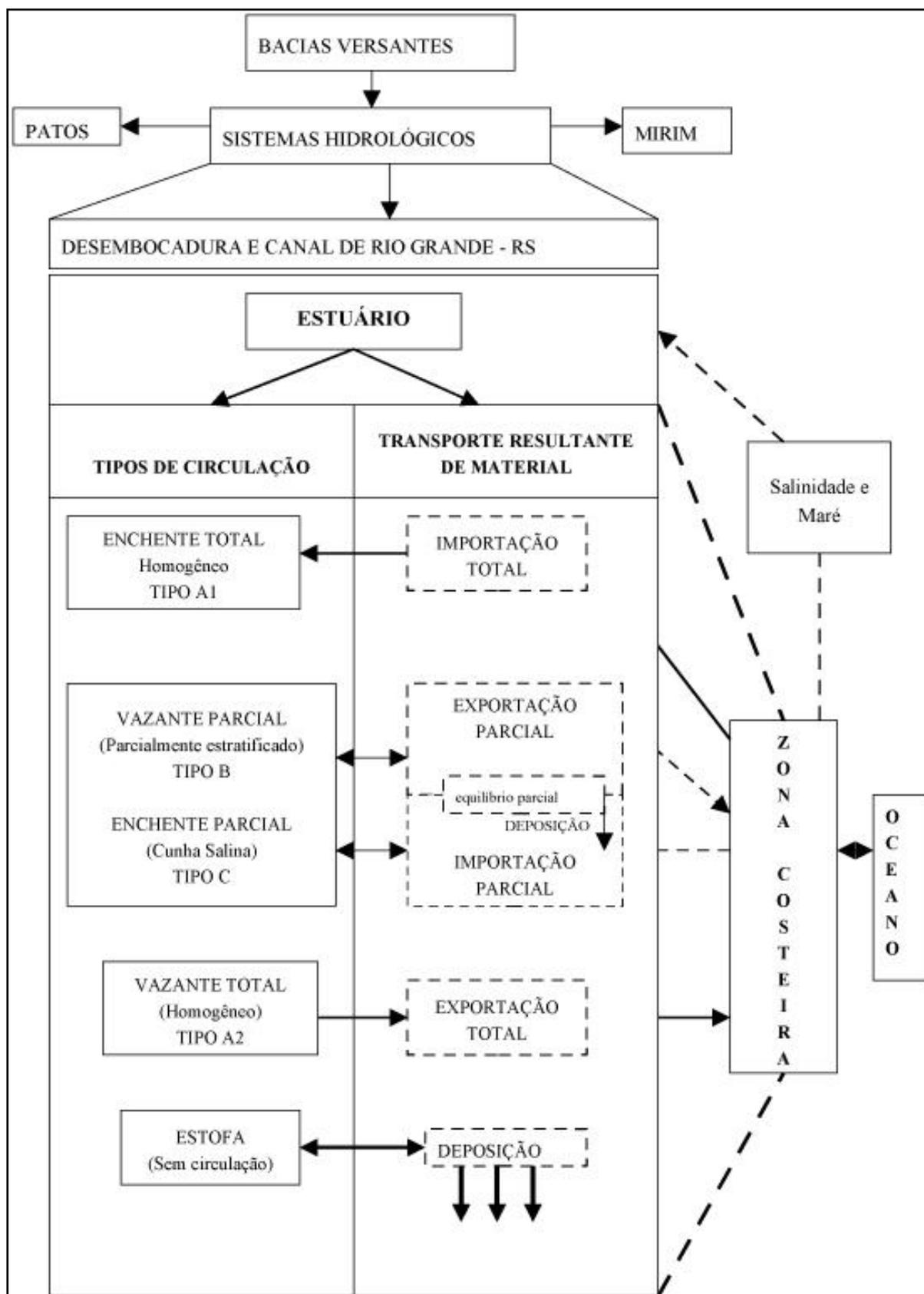


Figura 1.3 Esquema geral da dinâmica lagunar, estuarina costeira e fluxos de material.
 FONTE: Hartmann, 1996.

No que diz respeito à variada precipitação pluvial no RS tem como principal causa o fenômeno El Niño Oscilação SUL (ENOS). O ENOS é um fenômeno de interação oceano-atmosfera que ocorre no Oceano Pacífico, sendo hoje a principal causa da variabilidade climática em diversas regiões do Globo. Apresenta duas fases extremas: uma fase correspondente ao aquecimento das águas do Oceano Pacífico equatorial (entre as costas da América do Sul na altura do Equador e Peru e a Indonésia) denominada El Niño¹ e uma fase fria denominada La Niña, que corresponde ao resfriamento anormal daquelas águas (BERLATO, 2003).

No RGS, o El Niño produz precipitação pluvial acima da média climatológica em quase todos os meses do ano, mas o período de maior influência é na primavera e início de verão. O fenômeno La Niña, ao contrário, ocasiona precipitação pluvial abaixo da média climatológica (estiagem). Os eventos ENOS, quanto fortes, determinam a ocorrência de extremos de variabilidade climática no RGS.

A famosa enchente de 1941 (maio 1941), que inundou um terço da cidade de Porto Alegre e conseqüentemente a região sul do estado, foi ocasionada por forte El Niño e a grande seca de 1917, com mais de um ano de duração, foi ocasionada por uma La Niña forte. Neste ano de 2009 estamos vivenciando uma forte La Niña no RGS com seca no estado e enchentes no Nordeste do Brasil.

1.6.3 Geomorfologia do fundo do estuário

Assim como na Laguna dos Patos, com fundo relativamente plano, as cotas batimétricas são inferiores a 7 metros, também a região do estuário apresenta profundidades que variam de 0 a 6 metros, com exceção do Canal do Norte, que atinge profundidades de até 14 m, pois é o acesso dos navios a Laguna dos Patos e Porto de Rio Grande. Segundo HARTMANN, 1988, 73% da região estuarina possui profundidade inferior a 3 metros.

Segundo CALLIARI (1980) os baixios mais expressivos, com profundidades inferiores a 1 metro, acham-se representadas pelo Banco da Sarangonha, Baixios da Feitoria e diversas “coroas” tais como as Coroas de Dona Mariana, junto à margem leste e ao Norte da Ponta a leste da Ilha da Feitoria e a coroa do Mosquito, junto ao baixio do mesmo nome (Fig. 1.4).

¹O nome El Niño foi dado pelos pescadores das costas do Peru e Equador, pelo fato da corrente de água quente se apresentar mais intensa perto de 25 de dezembro, época do nascimento do menino Jesus. Por oposição, a fase fria foi denominada de La Niña.

O estuário da Laguna dos Patos se caracteriza por altos teores de sedimentos finos, tanto em suspensão como depositados no fundo e nas margens existem segmentos de vegetação de marismas, praias de areia fina e muito fina, locais com praias de areia grossa e estruturas artificiais.

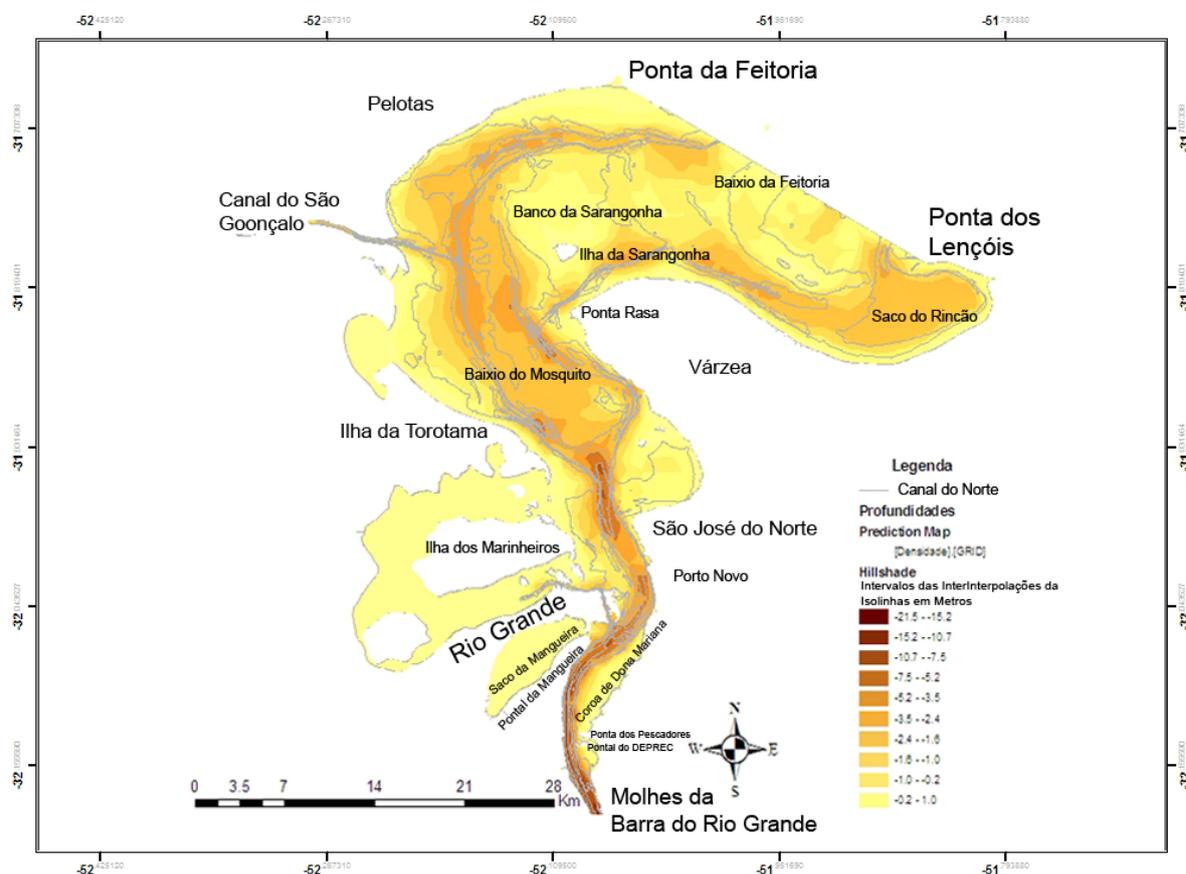


Figura 1.4 Mapa da Superfície do Fundo do Estuário. Dados batimétricos obtidos através de mosaico das cartas náuticas B2101, B2102, B2103, B2104, B2105, B2106 (escala 1:25.000) da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O desenvolvimento da tese teve como infraestrutura o LOG - Laboratório de Oceanografia Geológica, utilizando suas instalações, equipamentos, softwares, bem como os arquivos e dados tabulados disponíveis das pesquisas realizadas no estuário da Laguna dos Patos, informações históricas (cartas batimétricas) desde antes da construção dos molhes, bem como dados da evolução da Barra do Rio Grande.

2.1.2 Informações disponíveis

Nos itens que seguem, descrevem-se os dados que foram tratados na tese.

2.1.2.1 Molhes e Barra de RG

Relatos de visitantes e navegadores vindos da Europa reportam ao século XVII e XIX descrevendo a região da desembocadura como uma área extremamente dinâmica e com alterações diárias em seu fundo, como descrito pelo,

(...)

Francês Nicolau Dreys (1781-1843) militar e funcionário público em seu país natal, de onde teve de retirar-se por questões políticas, deslocando-se para o Brasil em 1817. Rio Grande do Sul (1818 e 1828). Seus escritos acabariam originando a Notícia descritiva da Província do Rio Grande de São Pedro do Sul. Em toda esta vasta extensão da costa, não há lugar algum em que o mar não rebente com violência, e do porto da Laguna até do Rio Grande, nenhum abrigo se oferece ao navegante: a costa, tristemente nua, seca, ameaçadora, promete um naufrágio provável a qualquer embarcação que se queira chegar a ela. Infeliz de quem for surpreendido à vista de terra pelos ventos de SE., mesmo do S., tão repentinos como violentos nesses climas caprichosos, mormente na espécie de enseada que forma a costa pelos 30° 40' de latitude; nessa posição, o sinistro é quase inevitável.

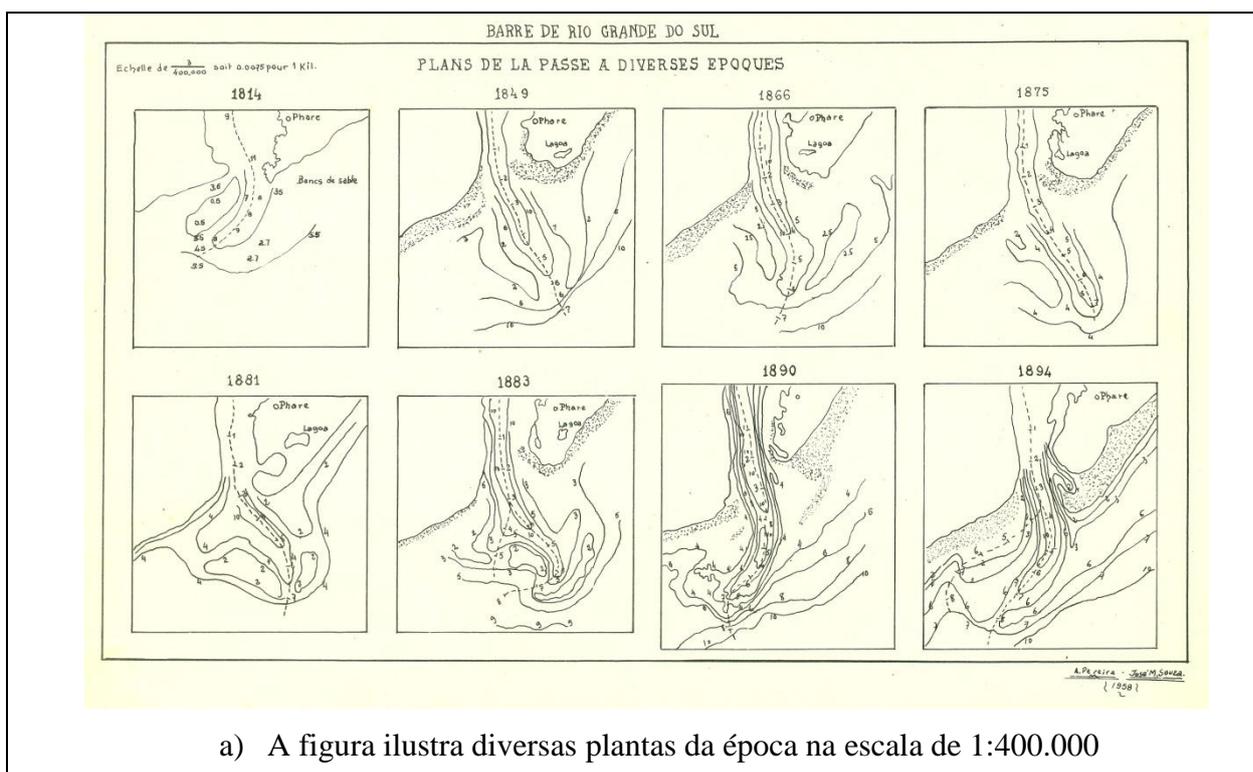
(...)

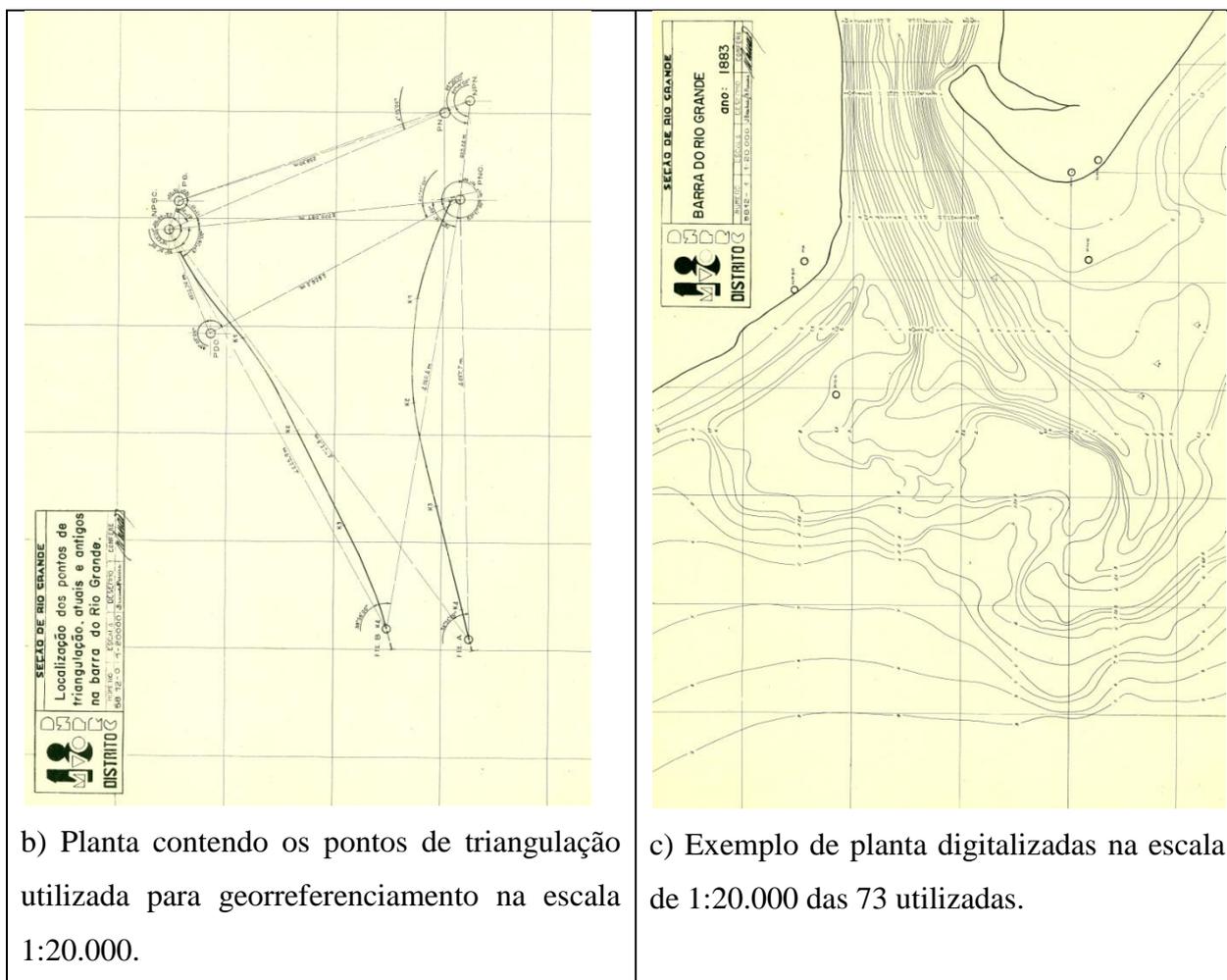
Os mares do Rio Grande são geralmente pouco profundos; condição ordinária de todos os mares contíguos a costas baixas e arenosas; daí resulta que, na ocasião das tempestades, o mar parece abalado até suas profundezas; nessas circunstâncias, ele perde sua tinta azulada, e toma uma cor pálida, como de mistura de barro e areia, suas ondas revolvem-se em vagalhões imensos, que limita o horizonte às cintas do navio, e se precipitam uns sobre os outros na direção das correntes, as quais aceleram também sua rapidez, na razão da intensidade dos ventos que as regulam, e do pouco volume da águas que obedecem ao seu impulso.

Estudos realizados desta região se reportam ao século XIX e início do século XX onde engenheiros como Sir John Hawkshaws, Honório Bicalho, Pieter Caland, Candido Gaffrée, Sylla Borralho, Clovis Cortes, Basile Malaval, descreveram e desenharam diversas possibilidades de construção de molhes para melhoria da navegação e entrada de navios no Porto de Rio Grande.

A Comissão de Melhoramentos da Barra, criada pelo Governo Imperial em 1883, tinha como objetivo realizar os estudos necessários para a elaboração de um projeto que resolvesse os problemas da Barra do Rio Grande, sendo a chefia dada ao Eng. Honório Bicalho, então Diretor das Obras Públicas da Secretaria de Estado, que através de estudos metódicos e sistemáticos, conseguiu demonstrar a viabilidade do melhoramento da Barra do Rio Grande (Motta, 1969).

Posteriormente em 1959, meados do século XX, o Departamento Nacional de Porto, Rios e Canais do Ministério da Viação e Obras Públicas, em Rio Grande, 18º Distrito (Raul Ferreira da Silva-Chefe do 18º Distrito), colocou a incumbência ao Eng. Cícero Marques Vassão de editar uma coleção das plantas da Barra do Rio Grande referentes aos anos de 1883 a 1956, onde consta uma figura das Plantas em diversas épocas desde 1814 a 1894 em escala 1/400.000 (Fig.2.1 a), uma planta em escala 1/20.000 (Fig.2.1 b) com a localização dos pontos de triangulação antigos na Barra do Rio Grande, e as plantas de 1883 a 1956 na mesma escala (Fig. 2.1 c).





b) Planta contendo os pontos de triangulação utilizada para georreferenciamento na escala 1:20.000.

c) Exemplo de planta digitalizadas na escala de 1:20.000 das 73 utilizadas.

Figura 2.1 a, b e c – Plantas originais desenhadas pelo Eng. Cícero Vassão nas escalas 1:400.000 (a), 1:20.000 (b e c).

MOTTA (1969) descreveu a região da desembocadura da Laguna dos Patos relatando tecnicamente o comportamento da região, em função da necessidade de entrada no Porto de Rio Grande de navios com calado maior que 5 metros, profundidade máxima encontrada na região antes da construção dos molhes da Barra de RG.

2.1.2.2 Oceanografia geológica e parâmetros ambientais

Desde a década de 70, século XX, a Universidade Federal do Rio Grande vem desenvolvendo pesquisas oceanográficas no ambiente costeiro com destaque para a região estuarina. Os trabalhos contemplaram todas as áreas da Oceanografia, dentre os utilizados nesta tese foram os relacionados com a coluna d'água e com o tipo de fundo.

O Projeto Material em Suspensão que trata da dinâmica do MS iniciado em 1979 (HARTMANN, 1979/80, 1982/83, 1984/85, 1996) bem como as informações do tipo de fundo adquiridas na década de 80 no projeto Laguna dos Patos por CALLIARI (1980), foram os dados utilizados para a construção do banco de dados e SIG.

HARTMANN (1996) estudou a distribuição e a composição do Material em Suspensão Total no estuário da Laguna dos Patos através de amostras pontuais e armadilhas, resultando na maior série contínua de dados para o local. Os dados de profundidade (m), temperatura (°C), transparência (Secchi), correntes (velocidade e direção), direção e velocidade do vento e amostras de água referem-se a estações fixas, adquiridos através de visitas periódicas à área e designadas como Cruzeiros Material em Suspensão (CR MS).

Os dados utilizados por CALLIARI (1980) na identificação de seis fácies distintas e mapeamento do fundo estuarino que se distribuem segundo a profundidade foram posteriormente organizados em uma planilha eletrônica por (DE MORE, 2001) e analisadas através de estatísticas paramétricas através do software Sysgran 2.0.

O posicionamento de todos os dados coletados na época dos Cruzeiros MS foram obtidos por alinhamento com objetos (bóias, faróis, feições costeiras) e da carta náutica 2112 da DHN na escala de 1:80.000, e desta maneira seus valores de latitude e longitude não apresentam a precisão dos valores obtidos atualmente com o uso de GPS. Isso fez com que, no momento do geoprocessamento dos dados, muitos se sobrepusessem e outros, se localizassem fora dos limites do estuário. Assim algumas amostras foram excluídas, ficando após verificação da consistência, 262 amostras significativas.

2.2 Métodos

Os dados foram organizados e armazenados em um banco de dados (BD) e basicamente compreendem: 1) Informações históricas, plantas da construção dos molhes entre 1883 a 1956; 2) Informações dos resultados das análises de sedimentos de fundo coletadas entre dezembro de 1975 e maio de 1979 e 3) De informações ambientais da coluna de água (profundidade, salinidade, temperatura, transparência, correntes e vento) e dos valores obtidos das amostras de água para quantificação do Material em Suspensão (MS) adquiridos através de visitas periódicas à área em estações fixas e designadas como Cruzeiros Material em Suspensão (CR MS) no período de 1979 a 1996.

2.2.1 Dados históricos dos molhes e da Barra de RG

As plantas foram digitalizadas no formato *jpg*, através de um escaner A3. A vetorização e o georreferenciamento foi efetuado no *software GeoMedia Professional v6.0* tendo como base o *Google Earth* ao qual foram adicionadas duas plantas datadas de 1883 e 1956 contendo pontos de referência para triangulação da área utilizadas na construção dos molhes e seu posicionamento. As plantas foram superpostas como *layers* e tiveram seus contornos ajustados a uma imagem de 2006 do satélite *Ikonos II* no modo multiespectral Bandas 123. A grade das plantas padronizada, na escala 1:20.000, contendo a localização dos pontos de triangulação e a definição de mais alguns pontos na grade, foi usada como referência para a extração de 14 pontos de controle utilizados no georreferenciamento. Estes dados foram então formatadas em um banco de dados nesta tese.

2.2.2 Sedimentologia

Para estes dados foi organizado um Banco de Dados onde consta a identificação da embarcação, número do Cruzeiro, data de coleta, coordenadas de localização da estação, profundidade local, e os resultados das análises de laboratório onde as amostras passaram pelas técnicas tradicionais de análise de sedimentos, resultando em 21 classes de diferentes tamanhos de grãos, definidos na escala PHI.

Após os dados digitados em uma planilha eletrônica foi realizada análise de textura através do diagrama triangular de *Shepard*, e calculados os parâmetros estatísticos (média, mediana, assimetria e curtose) utilizando o *software Sysgran 3.0*.

Foi construída uma rotina na Linguagem de Programação *Matlab Versão 7.2* de 2006 onde foi implementada a *Análise Fatorial Modo-Q* salvando as matrizes geradas diretamente em um diretório criado pela rotina e os gráficos correspondentes para executar a análise dos dados.

A partir destas informações aplicamos o método estatístico de Análise Fatorial Modo-Q onde, após a primeira execução da rotina implementada no *software MatLab*, selecionamos 262 amostras que se caracterizam pela similaridade acima de 0.7, valor este ideal para obter um resultado mais preciso devido ao grande número de amostras.

As matrizes resultantes da Análise Fatorial foram tabeladas e inseridas no SIG para serem geoprocessadas, utilizando posicionamento das amostras. No modelo digital do terreno, gerado para cada conjunto de amostras de cada um dos fatores, aplicou-se a Krigagem, isto é, um modelo geoestatístico de interpolação de dados que resultou na identificação das maiores concentrações e a tendência ou direção do seu crescimento ou decréscimo assim como a cobertura do fundo do estuário através da batimetria em função dos fatores identificados. A utilização dos dados de sondagem obtidos das amostras, e da vetorização das cartas náuticas B2101, B2102, B2103, B2104, B2105 e B2106 em escala 1:25.000 cobrindo toda a região do estuário, propiciaram a geração do modelo 3D do fundo do estuário onde posteriormente foram sobrepostas através de layers as amostras e os mapas de krigagem de cada um dos fatores.

2.2.2.1 Análise Fatorial Modo-Q

Análise Fatorial (AF) é o termo genérico de uma técnica multivariada, cujo propósito primeiro é a redução de dados e sumarização. Ela analisa as relações entre variáveis e tenta explicá-las em termos de suas dimensões subjacentes comuns (fatores). É uma técnica de interdependência, não sendo explicitada uma variável dependente (Hair, 1995).

A **AF** tem sido utilizada extensivamente na Geologia por compor conjuntos de dados consistindo essencialmente em proporções. Este tipo de dado ocorre quando os dados originais são normalizados, de alguma maneira que torne a soma sempre uma constante. Se os valores das respostas das **m** variáveis (phi Classes) são conhecidas é possível projetar o problema em um espaço m-dimensional. Como a soma de todas as frações é constante, somente as concentrações de m-1 variáveis (classes) podem ser independentes, a outra será uma variável dependente.

Análise Fatorial Modo-Q (AFMQ) é baseada no agrupamento de conjunto de dados multivariados onde a estrutura de dados é definida pela similaridade entre as amostras. Isto se deve exclusivamente na interpretação do **relacionamento entre os objetos** no conjunto de dados, **correlação ou semelhança** de comportamento, ao contrário do modo R que explora o **relacionamento entre variáveis ou a covariância**.

A AFMQ é muito utilizada na análise de conjunto de dados fechado, isto é, onde o somatório de cada linha da matriz de dados é constante para todas as linhas (Calliari, 1996). Um conjunto de dados de sedimentologia é formado por amostras (linhas) de sedimentos coletados e peneirados em 21 classes de tamanhos de grãos ou variáveis (colunas), na escala

Phi de -2 a 12, onde a soma de cada variável (tamanho de grão da amostra) fecha num total de 100%, isto é, cada linha ou amostra tem um valor acumulado constante de 100.

O objetivo da AFMQ é determinar a abundância dos componentes dominantes nas amostras do ambiente (Imbrie e Van Andel, 1962). Isto fornece uma descrição multivariada do conjunto de dados em termos dos **membros extremos** (*end-members*), isto é, fatores comumente ortogonais, que representam as diferenças(ou semelhanças) entre o conjunto de dados. Um **escore fatorial** (*factor score*) representa a importância de cada variável em cada membro extremo. O conjunto de escores para todos os fatores constituem a **matriz dos escores fatoriais** (Klovan e Imbrie, 1971). Um escore fatorial é um vetor unitário num espaço **m** (número de variáveis) dimensional, com cada elemento tendo um valor entre -1 e 1, e a soma dos quadrados dos elementos igual a 1. A importância relativa de cada fator membro extremo em cada amostra de sedimentos é o valor de sua **carga fatorial** (*factor load*). O conjunto completo das cargas fatoriais descrevendo cada amostra de sedimentos em cada um dos seus membros-extremos é a **matriz das cargas fatoriais** (*factor loadings*). A comunalidade (*communality*) é a soma dos quadrados das cargas fatoriais das variáveis sobre cada fator e indica a eficiência dos mesmos na explicação da variabilidade total. A comunalidade varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 melhor será a explicação (Calliari, op. cit).

Segundo Calliari, op. cit, as vantagens da aplicação da análise fatorial em dados de sedimentologia fechados em 100% de cada amostra é que:

- identifica as amostras representativas no conjunto de dados que são de composição extrema e descrevem o resto dos objetos como porcentagens destes membros-extremos cuja composição é expressa como escores fatoriais;

- permite o desenvolvimento de um **modelo fatorial** que pode ser utilizado para reproduzir os dados originais em unidades de proporções ou porcentagem. Este favorecimento resulta do fato que a soma constante (geralmente 100% no caso de modo-Q aplicado aos dados de tamanhos de grãos) fornece uma média para padronizar os vetores amostras em solução de fatores, então a análise pode ser expressa em termos das medidas de unidades originais.

A matriz das cargas fatoriais, determinada por Imbrie e Purdy (1962), não fornece um conjunto de objetos composicionalmente distintos.

A decomposição fatorial gera uma base não-ortogonal. Desta forma não é possível representar vetorialmente os dados como uma combinação linear de seus membros extremos. A

solução é buscar através da rotação Varimax a ortogonalidade a fim de poder combinar linearmente os vetores.

A rotação oblíqua é executada para que os dados tornem-se mais próximos dos dados originais, isto é, para que os valores correspondam às variáveis físicas.

As rotações dos vetores (fatores) asseguram que a participação absoluta de cada membro extremo do fator em cada amostra é maior que ou igual a zero.

O retorno aos valores originais das variáveis é assegurado através do procedimento denominado denormalização.

2.2.2.2 Implementação da AFMQ nos dados de sedimentologia

Para o conjunto de dados contendo 262 amostras de sedimentologia utilizadas neste trabalho, os dados são expressos em porcentagem de cada tamanho de grão (variáveis) na escala phi de -2 a 12 existindo a exigência que a soma das variáveis em uma amostra seja igual a 100% , para realizar a análise. É necessário que os dados sejam fechados pela soma das variáveis em cada amostra tenha um valor constante, então os escores fatoriais podem ser convertidos em sua composição original. Com o conjunto de dados fechado, pode ser calculada a participação absoluta de cada fator membro-extremo em cada amostra.

A AFMQ define a similaridade das amostras de sedimentologia considerando as proporções das variáveis. Procura na matriz de dados \mathbf{X} , as amostras mais divergentes, representadas pelas proporções mais significativas dos tamanhos de grãos, as quais representam os limites de delimitação do espaço. Os demais membros devem ser combinações lineares destas amostras. O número mínimo de vértices é determinado pela aproximação da matriz de dados por uma matriz de ordem menor. Isto definirá um número de vetores-linha linearmente independentes, bem como a dimensionalidade do sistema. A contribuição de cada amostra é obtida pelo uso da auto-análise. Esta análise é feita sobre uma matriz real e simétrica obtida da matriz de dados.

Esta matriz real e simétrica é a medida de similaridade, definida por Imbrie e Purdy (1962) através de um índice de similaridade proporcional referido como co-seno de teta, isto é, a matriz cujos elementos é o co-seno dos ângulos entre todos os pares de amostras. Antes, cada elemento nas linhas da matriz de dados \mathbf{X} é dividido pela raiz quadrada da soma dos quadrados

dos elementos da linha (Davis,1973), gerando o vetor unitário. A matriz N dos dados normalizados é dada por:

$$N_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} \quad (1)$$

Onde:

- X é a matriz dos dados brutos;
- x é um elemento da matriz X ;
- n é o número de linhas de X (número de amostras);
- m é o número de colunas de X (número de phi classes - variáveis);
- N é a matriz de dados normalizada por linhas;
- i é o número de linhas de W ;
- j é o número de colunas de W .

Para duas amostras n e m de N , o $\cos \theta$ é determinado por :

$$\cos \theta = \frac{\sum_{j=1}^p x_{nj} x_{mj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^p x_{nj}^2 \sum_{j=1}^p x_{mj}^2}} \quad (2)$$

Onde:

- $\cos \theta$ é a matriz de similaridade co-seno teta.

O procedimento de implementação da AFMQ para os dados de sedimentologia inicia com a normalização das linhas da matriz de dados brutos X , pré-multiplicando X por uma matriz diagonal D^{-1} , o inverso da matriz composta pela raiz quadrada da soma dos quadrados do vetor linha dos elementos de X , que é a matriz normalizada N (2) dada por:

$$N = X D^{-1} \quad (3)$$

Onde:

- D é matriz diagonal gerada pela raiz quadrada das somas dos quadrados dos elementos de cada linha da matriz X ;
- D^{-1} é o inverso da matriz D .

O $\cos \theta$ é calculado para todos os pares de amostras gerando a matriz similaridade **W**.

$$W = \cos \theta = N N^t \quad (4)$$

Onde:

- **W** é a matriz similaridade co-seno teta.

Para elementos “w” positivos este índice varia de zero a um, significando não existir similaridade (zero) e significando a identidade (um).

A normalização por linha não afeta a relação de proporcionalidade entre as variáveis e remove o efeito da diferença das proporções entre as amostras.

A matriz similaridade é definida por:

$$W = N N^t = D^{-1} X^t X D^{-1} \quad (5)$$

Os autovalores (λ) e autovetores (**V**) são extraídos da matriz co-seno teta.

A matriz das cargas fatoriais **F** é formada multiplicando cada elemento na matriz dos autovetores pela matriz **K** gerada pela raiz quadrada dos elementos da diagonal da matriz dos autovalores.

$$F = V K \quad (6)$$

Onde:

- **F** é a matriz das cargas fatoriais
- **V** a matriz similaridade dos autovetores
- **K** é a matriz diagonal onde os valores únicos são a raiz quadrada dos autovalores.

A matriz dos escores fatoriais **S** é obtida multiplicando a transposta do conjunto de dados normalizados, por sua matriz de cargas fatoriais **F**:

$$S = N^t F \quad (7)$$

Onde:

- S é a matriz dos escores fatoriais;
- N^t é a transposta da matriz de dados normalizada.

O objetivo da AFMQ é a separação da matriz $W_{(n \times m)}$ normalizada, formada por n amostras e m variáveis (tamanhos de grãos - com proporção de 100% das variáveis para cada amostra) no produto de duas matrizes:

$$W_{(n \times m)} = F_{(n \times p)} S_{(p \times m)}^t + E_{(n \times m)} \quad (8)$$

Onde:

- $W_{(n \times m)}$ é matriz de dados normalizados, com n linhas e m colunas (n amostras e m variáveis);
- $S^t_{(p \times m)}$ é a matriz transposta dos escores fatoriais;
- $F_{(n \times p)}$ é a matriz das cargas fatoriais;
- $E_{(n \times m)}$ é a matriz dos resíduos;
- p é um escalar e indica o número de fatores que descreve a maior parte da variabilidade dos dados;
- t é o subscrito que representa a transposta da matriz.

Do teorema de Eckart-Young (Joreskog et al.,1976, apud Calliari,1996), qualquer matriz real W pode ser expressa como o produto de três outras matrizes:

$$W = V K V^t \quad (9)$$

onde V é a matriz dos autovetores de maior produto momento e K a matriz diagonal do autovalores associados e V^t é a transposta dos autovetores de menor produto momento, o qual é obtido quando a matriz normalizada é pré-multiplicada por sua transposta. Se pós-multiplicarmos ambos os lados da equação 9 por V obteremos: (Calliari,1996)

$$W V = V K \quad (10)$$

Da equação 6 ($F = V K$) obtemos:

$$F = W V \quad (11)$$

Pós-multiplicando por \mathbf{ave}^t obtemos:

$$F V^t = W V V^t \rightarrow F V^t = W \quad (12)$$

Substituindo na equação 7 ($W_{(n \times m)} = F_{(n \times p)} S_{(p \times m)}^t + E_{(n \times m)}$) obtemos:

$$F V^t \approx F S^t + E \quad (13)$$

$$e \quad S \approx V \quad (14)$$

$$\text{então } F = W S \quad (15)$$

Esta última equação pode ser utilizada como uma poderosa ferramenta em sedimentologia para mapear qualquer textura ou amostras mineralógicas baseadas nas cargas fatoriais. Uma vez obtidas as matrizes dos escores fatoriais e das cargas fatoriais de um determinado conjunto de dados, isto é, uma vez que o melhor modelo fatorial é escolhido, novas amostras que não fazem parte do conjunto de dados original pode ser mapeadas no espaço fatorial, desde que o número e tipo de variáveis não mudem (Calliari, 1996).

A rotação Varimax gira rigidamente os vetores da matriz \mathbf{F} até que eles coincidam com os vetores mais divergentes no espaço. Isto é feito maximizando-se a correlação dos fatores em cada vetor, **sujeitos à restrição que os fatores retenham sua ortogonalidade, ou seja, que os fatores permaneçam não correlacionados entre si**. Esta rotação produz os eixos dos membros-extremos muito próximos à composição básica real (Imbrie and Van Andel, 1962). A ordem da matriz \mathbf{F} para a rotação é igual ao número de vértices, o qual é determinado pelo número de autovalores significativos. A matriz \mathbf{F} é então rodada para produzir uma nova matriz, \mathbf{B} . A relação entre as duas matrizes é dada por:

$$B = F T \quad (16)$$

Onde:

- $\mathbf{T}_{(p \times p)}$ é matriz de transformação;
- $\mathbf{B}_{(n \times p)}$ é a matriz das cargas varimax.

Cada linha da matriz \mathbf{B} corresponde a uma amostra ou uma combinação linear deles e cada coluna representa um fator. Logo todas amostras podem ser descritas em termos das contribuições positivas ou zero dos fatores membros-extremos.

Então, a combinação do uso de um conjunto de dados nos quais a soma das variáveis em cada amostra é constante e da utilização da rotação varimax resulta em uma análise fatorial a qual descreve cada amostra em termos da participação relativa dos fatores membros-extremos cuja composição é dada em termos da concentração das variáveis originais.

A composição destes membros-extremos varimax pode e usualmente contem muitos valores negativos para algumas variáveis. Para eliminar este problema realiza-se uma rotação não-ortogonal.

Imbrie e Van Andel (1962) descreveram um procedimento para projeção oblíqua que rotaciona os fatores membros-extremos Varimax ortogonais até que eles também coincidam com os vetores mais divergentes. Desta forma todos os demais membros do conjunto são definidos como proporções destas amostras. **A diferença dessa rotação é que o ângulo entre os fatores é oblíquo e, portanto eles são correlacionados entre si.** Isto é feito construindo-se uma matriz $\mathbf{M}_{(p \times p)}$, que contém os mais altos valores absolutos dos pesos varimax em cada coluna das amostras.

A matriz da projeção oblíqua é dada por

$$\mathbf{O} = \mathbf{B} \mathbf{M}^{-1} \quad (17)$$

Onde:

- \mathbf{O} é a matriz projeção oblíqua;
- \mathbf{M} é a matriz dos mais altos valores absolutos dos pesos varimax;
- \mathbf{M}^{-1} é a inversa de \mathbf{M} .

Os vetores linha da matriz projeção oblíqua \mathbf{O} fornecem as contribuições proporcionais de todas as amostras em termos das amostras de referência.

$$\mathbf{l} = \sum_{i=1}^m \mathbf{O}^t \quad (18)$$

Onde:

- \mathbf{O}^t é a transposta da matriz \mathbf{O} , com 5 linhas x 262 colunas;
- \mathbf{O} é uma matriz com 5 colunas(fatores) x 262 linhas(amostras);
- \mathbf{l} é um vetor linha onde cada elemento é a soma de cada coluna da matriz

\mathbf{O}^t ;

A denormalização segundo Joreskog and Reyment (1996) é realizada dividindo cada vetor coluna da matriz \mathbf{O} pelo comprimento do vetor da amostra correspondente. Este procedimento denormaliza os vetores coluna da matriz \mathbf{O} , isto é, recalcula os valores das amostras em termos dos dados originais.

$$DN = O/H \quad (19)$$

Onde:

- \mathbf{H} é a matriz diagonal de \mathbf{I} , que são os vetores unitários, isto é, o comprimento do vetor amostra correspondente;
- \mathbf{DN} é a matriz denormalizada.

Na figura 2.2 podemos visualizar duas amostras plotadas num espaço tridimensional. A matriz normalizada por linha $W(n \times m)$ (fig. 2.2 a) onde Coseno teta é uma medida de similaridade entre amostras num espaço variável. A matriz de cargas fatoriais $F(n \times p)$ (fig. 2.2 b), onde as cargas fatoriais são plotadas no espaço dos fatores. A matriz dos escores fatoriais $S(p \times m)$ (fig. 2.2 c), onde a matriz S descreve a composição de cada fator em termos das variáveis originais. A matriz W pode ser escrita em função de F e S .

$$W \approx F \times S'$$

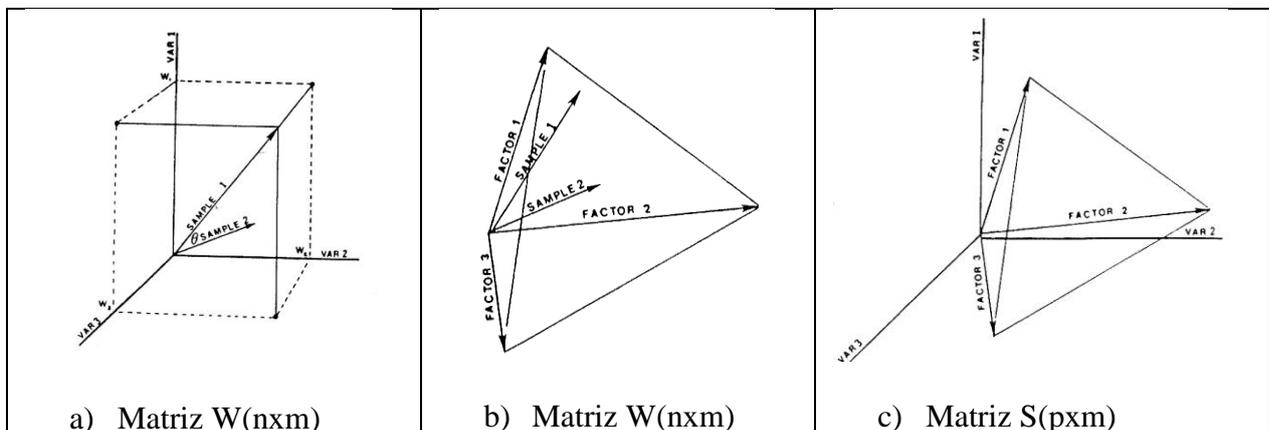


Figura 2.2 – Amostras plotadas num espaço tridimensional. Modificado de Moustafa(1988).

2.2.3 Dados ambientais e Material em Suspensão

Os dados ambientais e as concentrações do material em suspensão do Projeto MS desenvolvidos no estuário desde a década de 70, cujos registros encontra-se em planilhas registradas manualmente, foram catalogadas e construído um banco de dados utilizando o software ACCESS. Os dados foram coletados em estações fixas, mensais e em fundeios, que representam informações temporais da dinâmica do MS na área. Empregou-se na coleta de dados *in situ* os equipamentos e a infraestrutura disponível na época bem como as técnicas de análises de laboratório e que podem ser encontradas nos trabalhos de MELO (1974); OTMANN (1974); HARTMANN (1980, 1985, 1988, 1989); PAIM e MÖLLER JR. (1986); HARTMANN ET AL. (1990); HARTMANN e SCHETTINI (1991). As informações básicas utilizadas no SIG foram: Material em Suspensão Total, profundidade local, temperatura, transparência (Secchi), correntes (velocidade e direção), direção e velocidade do vento.

As primeiras informações organizadas no banco de dados foram os dados dos cruzeiros pioneiros neste tipo de levantamento, realizados na região do estuário da Laguna dos Patos em 1979/1980, chamada de Fase I, dos realizados em 1982/83 a Fase II e em 1984/1985 a Fase III. Também dados pontuais semanais, sazonais obtidos em 1992 e 1993, na região do canal do Norte, denominados de Fundeios, também foram utilizados (Hartmann, 1996).

Estes dados encontravam-se descritos em planilhas de campo, onde as informações foram registradas no momento da sua aquisição e os resultados das análises obtidas em laboratório, todos tabelados e documentados em material impresso no formato analógico.

As informações foram organizadas num banco de dados e implementados num Sistema de Informações Geográfica (SIG), tendo como base o programa GeoMedia Professional em sua versão 6.1. Os resultados das análises da época (mapas) foram então comparados aos resultados gerados no SIG através da análise geoestatística, pelo método da *Krigagem*.

2.2.4 Geoprocessamento e a espacialização dos dados

O Geoprocessamento é a tecnologia que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, influenciando todas as áreas do conhecimento que utilizam e/ou gerenciam informações que possuem características posicionais e temporais, como recursos naturais, transporte, comunicação, energia e gestão.

A principal ferramenta computacional do geoprocessamento é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que nos permite atribuir aos dados, características e/ou atributos que variam em função de sua posição e do tempo (especializados e temporais). Esta ferramenta nos permite estudar a variabilidade dos atributos através da realização de análises complexas, ao integrar dados espaciais de diversas fontes como dados cartográficos (cartas, imagens, plantas) e dados de bancos de dados georreferenciados, que, através de fórmulas e/ou algoritmos, pesquisa os relacionamentos entre estas entidades gráficas e o banco de dados (informações pontuais), e da geoestatística que permite aplicar estatísticas, interpolar dados, representando matematicamente a distribuição espacial das características do fenômeno, vinculada à sua superfície real.

Para poder contar com toda a funcionalidade de um SIG é necessário que este esteja bem estruturado através da implementação de um banco de dados totalmente relacionado com os dados geográficos (cartas, mapas e imagens de satélites) e não-geográficos (tabulares) e cada informação inserida no banco de dados seja formatada seu metadado² a fim de facilitar sua utilização futura.

A utilização de metadados apresenta vantagens em função da possibilidade de reutilização da informação adquirida ou desenvolvida, da facilidade no compartilhamento da informação, tornando-a mais fácil e mais barata, evitando a perda de dados ou a recriação dos dados já existentes, assim como no momento em que a pessoa que implementou os dados não estiver mais disponível para a manutenção dos mesmos, leva-se muito tempo para que uma nova pessoa os recupere, evitando assim que o conhecimento e a organização dos dados fiquem nas mãos de uma única pessoa. Com os metadados, as informações vitais de um projeto, estão sempre disponíveis.

O SIG tem sido implementados em praticamente todos os países. Nos EUA todas as agências federais devem usar o padrão FGDC (Federal Geographic Data Committee) de metadados para documentar os dados geoespaciais criados. Em 2003 foi adotado pela comunidade internacional, o ISO-19115 *Geospatial Metadata Standard*, padrão ISO de metadados.

²Metadado – dados do dado. São informações em formato texto identificando as características básicas de coleta e formatação do dado.

No Brasil o Decreto Nº 6.666 de 27 de novembro de 2008 instituiu, no âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

“A Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) tem o objetivo de promover o adequado ordenamento na geração, armazenamento, acesso, compartilhamento, disseminação e uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal, em proveito do desenvolvimento do País; promover a utilização, na produção dos dados geoespaciais nos padrões e normas homologados pela Comissão Nacional de Cartografia (Concar); e evitar a duplicidade de ações e o desperdício de recursos na obtenção de dados geoespaciais pelos órgãos da administração pública, por meio da divulgação dos metadados relativos a esses dados disponíveis nas entidades e nos órgãos públicos.

Para atingir esses objetivos, será implantado o Diretório Brasileiro de Dados Geoespaciais (DBDG), que deverá ter no Portal Brasileiro de Dados Geoespaciais, denominado “Sistema de Informações Geográficas do Brasil (SIG Brasil)”, o portal principal para o acesso aos dados, seus metadados e serviços relacionados.

O compartilhamento e disseminação dos dados geoespaciais e seus metadados será obrigatório para todos os órgãos e entidades do Poder Executivo federal e voluntário para os órgãos e entidades dos Poderes Executivos estadual, distrital e municipal. “Os dados geoespaciais disponibilizados no DBDG devem ser acessados por meio do SIG Brasil, de forma livre e sem ônus para o usuário devidamente identificado”.

As técnicas de análise espacial introduzidas com o geoprocessamento facilitam a tarefa de integração e espacialização dos dados (geográficos e não geográficos), especialmente quando ele tem diferentes origens, tipos e formatos, permitindo a integração de um grande número de variáveis e a espacialização dos resultados. Além de reduzir a subjetividade nos procedimentos de análise passa-se a contar com a visualização dos dados e resultados na forma de mapas.

A possibilidade de combinar informação cartográfica e tabular, bem como embutir conhecimento específico e/ou subjetivo em uma análise, torna um sistema de geoprocessamento uma ferramenta especialmente útil para fins de planejamento.

A característica fundamental de um sistema de geoprocessamento é sua faculdade de armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional, onde a noção de mapa é estendida para incluir diferentes tipos de dados geográficos, como imagens de satélite e modelo digital de terreno (MDT).

O geoprocessamento utiliza o modelo digital do terreno (MDT) para representar a distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre através da matemática computacional. Dados de relevo, informações geológicas, levantamentos das profundidades do mar ou de um rio, informações meteorológicas e de dados geofísicos e geoquímicos são exemplos de fenômenos representados por um MDT. Podemos também utilizá-lo para apresentação tridimensional, em conjunto com outras variáveis, assim como análise de variáveis geofísicas e geoquímicas.

Os SIG são sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial, oferecendo a administradores, pesquisadores, e todos aqueles que gerenciam informações, uma visão inédita de seu ambiente de trabalho em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionados com base no que lhes é fundamentalmente comum – a localização geográfica.

Num SIG a geometria e os atributos dos dados devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica as principais características dos sistemas de informações geográficas e a possibilidade de:

- Integrar, numa única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélites, redes e MDT;
- Combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados;
- Consultar, recuperar, visualizar e desenhar o conteúdo da base de dados geocodificados.

SIG são constituídos por uma série de processos de análise para focalizar o relacionamento de determinado fenômeno da realidade com sua localização espacial. Utilizam uma base de dados computadorizada que contém informação espacial, sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais; baseiam-se numa tecnologia de armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, não-espaciais e temporais e na geração de informações correlatas (Teixeira, 1992).

2.2.5 A base de dados

O SIG gerado neste trabalho integra numa única base de dados: informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados oceanográficos de temperatura, salinidade, transparência, batimetria, imagens de satélite, modelos digital de terreno, cartas náuticas georreferenciadas e vetorizadas, e mapas históricos da região da Barra de RG. As várias informações, através de algoritmos de manipulação, são combinadas no SIG para gerar mapeamentos derivados e permitir consultas, recuperação, visualização e plotagem das informações relacionadas em um banco de dados geográfico.

As geotecnologias (ferramentas de geoprocessamento) foram utilizadas durante todas as etapas do trabalho. A integração das informações em uma única base de dados possibilita que informações espaciais geradas através das ferramentas de SIG e análises geoestatísticas executadas sejam comparadas com os resultados obtidos das análises tradicionais.

No fluxograma da figura 2.3 visualizam diferentes etapas de execução de um modelo de SIG, no caso oceanográfico, em parte implementado nesta tese.

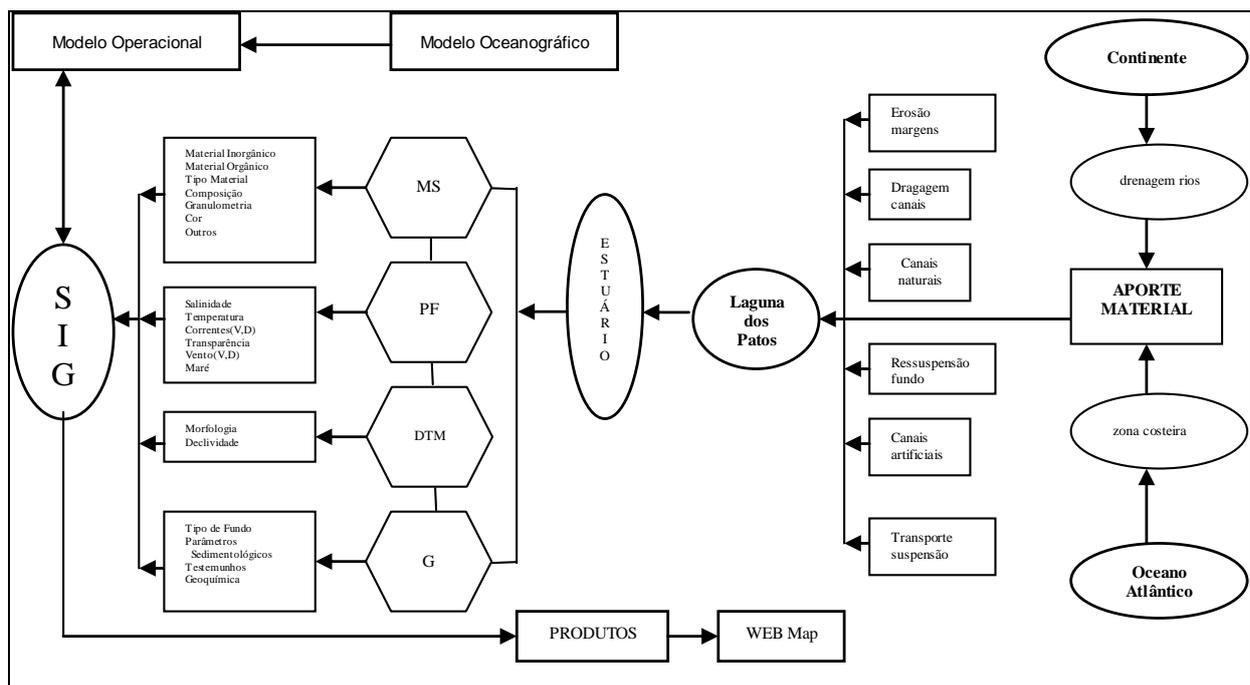


Figura 2.3 – Modelo de um SIG Oceanográfico para o estuário da Laguna dos Patos, RS.

Através deste modelo pode-se ter uma idéia da integração entre as todas as informações geradas e encontradas nas pesquisas realizadas sobre uma região oceanográfica. As informações ficam organizadas como:

Material em Suspensão (MS) – Material Inorgânico, Material Orgânico, Tipo Material, composição, granulometria, cor;

Parâmetros Físicos e Ambientais (PF) – Salinidade, Temperatura, Correntes, Transparência, Vento, Maré;

Modelo Digital do Terreno (MDT) – Morfologia e profundidades;

Geologia Marinha (G) – Tipo de Fundo, Parâmetros – Sedimentológicos, Testemunhos e Geoquímica.

Os pacotes de geoprocessamento utilizados foram o *GeoMedia* versões 6.0 e atualizado durante o andamento do trabalho para 6.1 e também nas finalizações foram implementadas algumas análises geoestatísticas e a geração do modelo 3D do estuário através do *ArcGIS 9.3*. O Banco de Dados das informações históricas da Barra de RG e dos dados de MS e sedimentologia foi gerado no *GeoMedia*.

O software *ArcView* foi utilizado a fim de comparar os resultados obtidos da Krigagem com os resultados obtido no *GeoMedia* que na versão 6.1 não oferecia recursos mais avançados na definição dos parâmetros do *variograma*, recurso este disponibilizado pelo *ArcView*. O modelo de terreno em 3D foi exportado do *GeoMedia* para o *ArcView* a fim de ser gerada a animação e linkado ao *ArcGlobe*. O *Geomedia* oferece a ferramenta *Terra Explorer* para disponibilização na Internet, mas ainda não tão precisa quanto o *ArcGlobe*. Ambos os *softwares* compõem um pacote completo com todas as ferramentas necessárias desde a vetorização, georreferenciamento, análises espacial e análises geoestatísticas, assim como a implementação de modelo de terreno em 3D e a disponibilização dos dados na Internet.

2.2.5.1 Metodologia de construção do Banco de Dados Oceanográficos do Estuário da Laguna dos Patos

No programa *Access* os dados foram organizados em um Banco de Dados (BD), e depois anexados no programa de *Geoprocessamento GeoMedia Professional 6.1* Após a inserção do BD no *GeoMedia*, análises podem ser realizadas.

Estas análises são implementadas através de **Consultas** (*Queries*), União (*Joins*), Interseção (*Intersection*) e por **Análises Espaciais** como Interseção (*Intersecção*), Agrupamento (*Aggregation*) e através do *Catalog* podemos gerar os **metadados**.

Os dados foram organizados em Tabelas na forma: Cruzeiros, Estação, Tipo Medidas, Medidas, Amostragem, Gráfico e Imagem, que são relacionadas através das análises espaciais.

O BD gerado no *Access* foi “conectado” (inserido-linkado) ao pacote de Geoprocessamento *GeoMedia* através da *Warehouse – New Connection*. Na *linkagem* são criadas tabelas relacionadas que farão com que possamos utilizar e recuperar estas informações como **geoinformações**, com a possibilidade de gerar novas informações através delas, (Fig. 2.4).

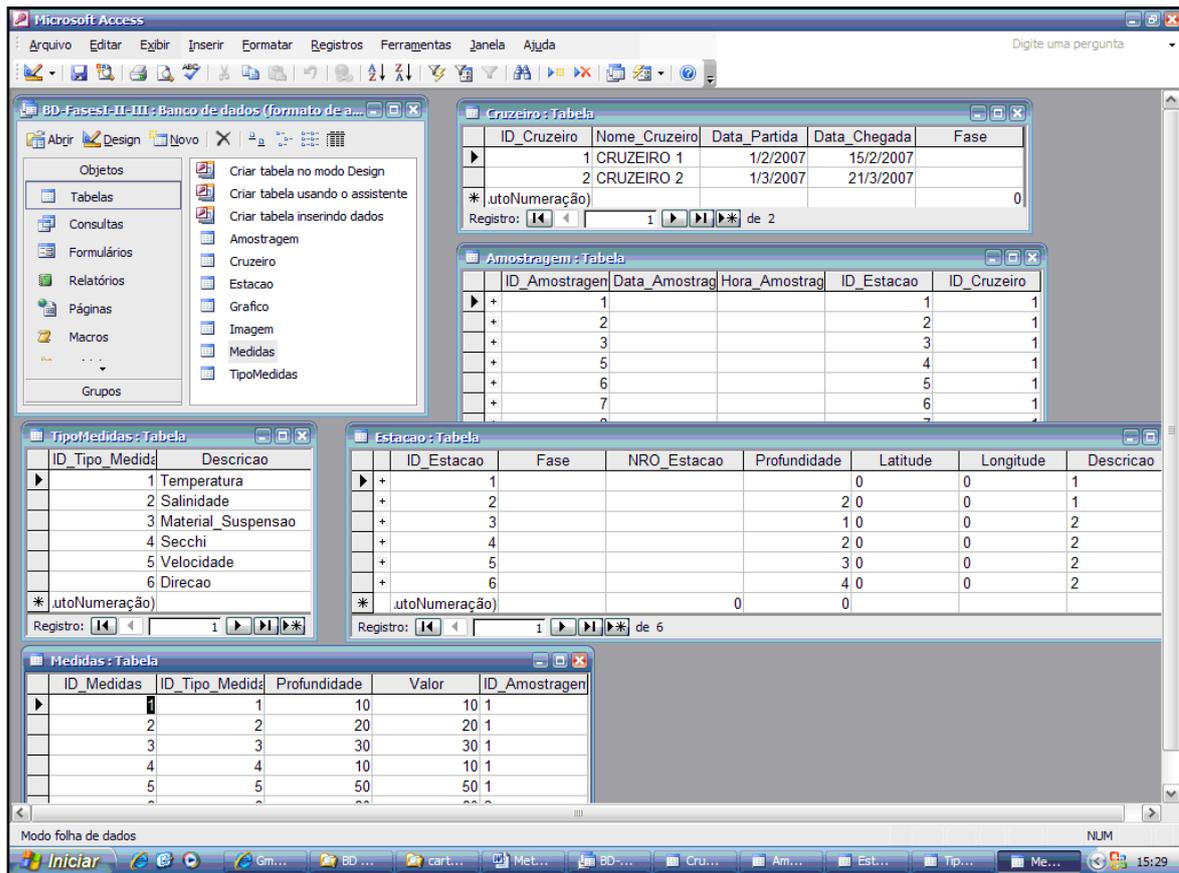


Figura 2.4. Geração do Banco de Dados no *Access*.

2.2.5.2 Modelagem do BD

Banco de dados Geográficos são coleções de dados georreferenciados, manipulados por Sistemas de Informação Geográfica, sendo projetados pela metodologia que inclui três fases: 1. Conceitual (definição das variáveis e características do dado); 2. Lógica (modelo de relacionamentos entre os dados) e 3. Física (implementação no programa de gerenciamento de dados).

Na modelagem adotada para formatação do banco de dados foram observados os níveis de abstração dos dados geográficos, os requisitos do modelo de dados geográficos e finalmente a clareza da representação dos dados que se pretende modelar.

Para aplicações geográficas, abstração ao nível do mundo real contém fenômenos geográficos representados pelos limites do estuário na carta náutica e as coordenadas dos pontos onde foram coletados os dados, isto é as estações.

2.2.5.3 Geração dos dados geográficos espaciais e temporais

As informações espacializadas das estações foram definidas através das planilhas e mapas editados na época da aquisição dos dados tendo como base a carta B2112 na escala 1:80.000 (Fig. 2.5). A comparação foi feita através da carta original e da carta editada definindo-se as coordenadas, levando-se em consideração as informações pessoais dos pesquisadores que realizaram a coleta dos dados. A Carta Náutica digitalizada foi inserida no software *GeoMedia* assim como todas as informações dos Parâmetros Ambientais gerando a carta georreferenciada da região de estudo, onde podemos identificar a delimitação do estuário da laguna dos Patos, o Canal do Norte e as estações de coleta de dados das Fases I, II e III dos Cruzeiros MS.

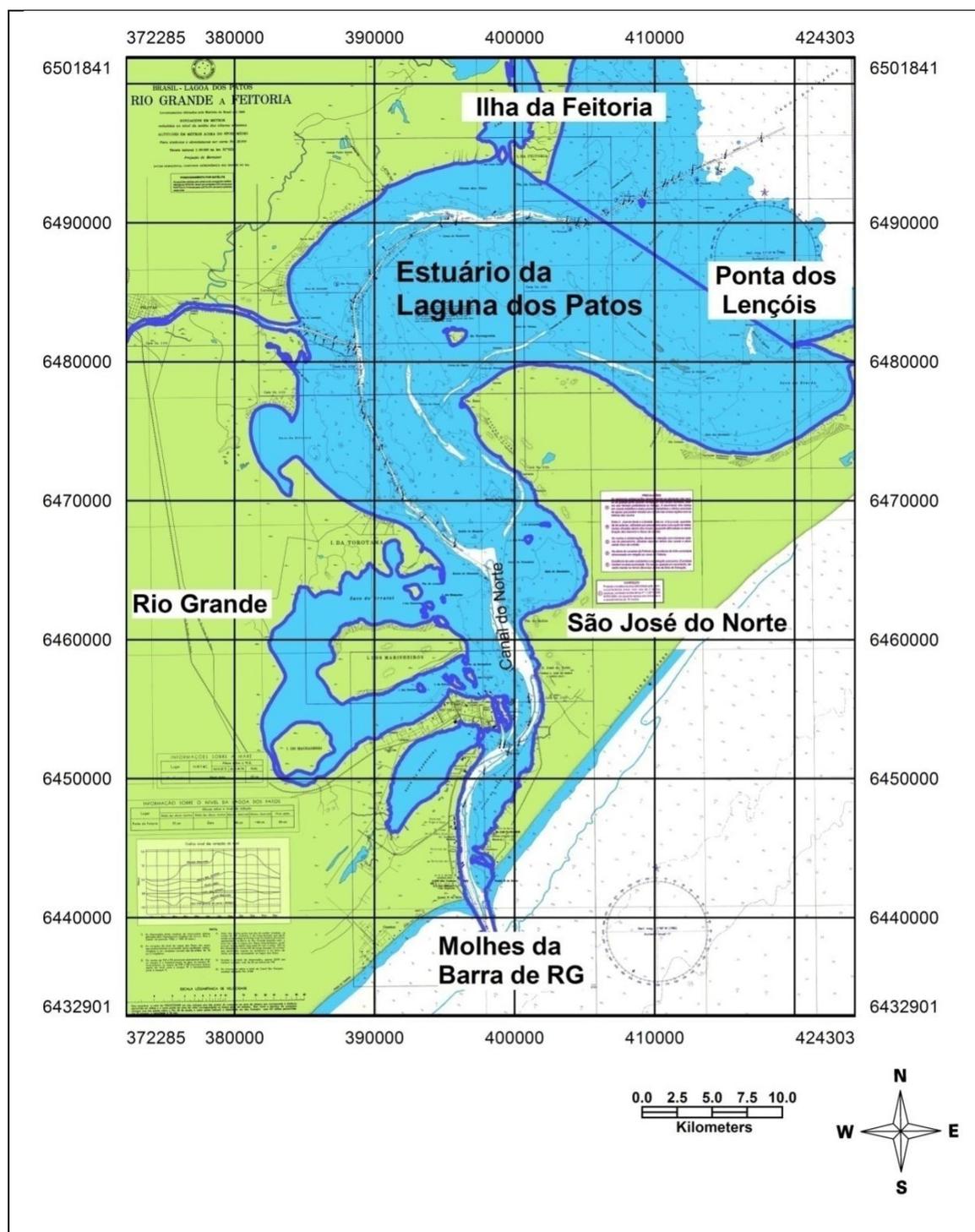


Figura 2.5. Delimitação da área do estuário da Laguna dos Patos. Carta Base DHN 2112 na escala 1:80.000, Projeção Mercator, Datum WGS84.

2.2.5.4 Geração dos atributos e implementação do Banco de Dados

Para a representação foram identificados os atributos dos dados como são descritos a seguir, e seus relacionamentos, através da utilização de análises espaciais.

2.2.5.5 Descrição das Tabelas geradas no Access

As informações específicas (atributos) por cruzeiro como: nome, data de partida, data de chegada, em qual fase foi realizado, constam da tabela **cruzeiro**.

A tabela **estação** contém as informações referentes a: localização (atributos); número e descrição, profundidade local, as coordenadas geográficas (latitude e longitude) e a descrição (alguma nota mais específica do local, como uma bóia ou feição geográfica da costa).

A tabela **amostragem** contém os atributos sobre: data e hora da amostragem, identificação do cruzeiro, e a identificação da estação onde foram feitas as coletas.

Na tabela **tipo medida**, os atributos são: identificador do tipo de medida e a descrição das medidas (temperatura, salinidade, material suspensão, secchi, velocidade e direção da corrente). Outras informações podem ser incluídas posteriormente bem como oriundas de novas amostragens. Esta **tabela** contém o atributo “valor” que contem a informação quantitativa da medida realizada no local da amostragem, num dado cruzeiro e/ou em laboratório.

2.2.5.6 Estrutura de Dados

Num SIG, a estrutura de dados existente é a **topologia** e as **camadas** (*layers*). A estrutura por topologia refere-se à conexão das características das relações espaciais fundamentais. Ela fornece a lógica que conecta pontos, linhas e polígonos. Esta descrição fornecida pela topologia deve ser precisa para possibilitar a realização de relações e análises espaciais, como a sobreposição de polígonos, isolamento de polígonos, determinar se uma linha está dentro de um polígono e determinar a proximidade entre características.

As camadas (*layers*) indicam apenas o modo de como o SIG estrutura seus dados ou representa a separação das informações de um mapa em categorias lógicas, temas ou níveis/planos de informação (PI).

As camadas geralmente contem informações sobre um tipo de característica (por ex. profundidade) ou sobre um pequeno grupo de características relacionadas (por ex. temperatura, salinidade, MS).

Ao inserirmos imagem de satélite e mapas digitalizados do estuário, iremos criar novas camadas ligando-as (*linkando*) com as informações do banco de dados.

Esta separação lógica em camadas permite a manipulação e análise espacial dos dados, isoladamente ou em combinação com outras camadas. Para obtenção de resultados analíticos significativos, os planos de informações devem estar referenciados geograficamente entre si, mediante um sistema de coordenadas comum.

É de extrema importância a definição do sistema de coordenadas de cada elemento na camada onde foram inseridos. A combinação dos planos de informação abre a possibilidade de sobreposição e combinação, para a criação de cenários alternativos e/ou combinação matemática de sobreposições já existentes.

2.2.5.7 Definição das Camadas (*Layers*)

Para a criação e análise das várias camadas foram criadas as feições correspondentes ao estuário e aos parâmetros ambientais: Limites do estuário, área do estuário, carta do estuário. Sobre o Banco de Dados MS_Fases I_II_III, foram aplicadas análises a fim de separar e organizar, criando tabelas correspondentes as informações de **parâmetros ambientais** (Material em Suspensão, Temperatura, Salinidade e Secchi), **sazonalidade** (primavera, verão, outono e inverno) e, a partir destas novas tabelas, as informações foram separadas conforme a posição de coleta das amostras como: superfície, meio e fundo da coluna d'água.

As tabelas contendo as informações referentes a sedimentologia de fundo do estuário foram então inseridas após realizada a Análise Fatorial Modo-Q. Estas informações foram adicionadas a base de dados sendo então realizado o georreferenciamento e análises a fim de gerar a linkagem com o banco de dados existente.

As plantas da Barra de RG e as imagens inseridas foram utilizadas para os cálculos de volume de sedimentos entre os molhes e a evolução e o deslocamento da Barra de RG.

Todas as informações estão configuradas numa Base de dados implementados no software de Geoprocessamento GeoMedia v 6.1 e podendo ser exportados para qualquer outro software assim como a adição de novas informações irão contribuir para a complementação do Banco de dados Oceanográfico da Laguna dos Patos.

2.2.6 Análise Geoestatística – Krigagem

A *krigagem* é uma técnica geoestatística de interpolação de dados amplamente utilizada nas áreas de meio ambiente, ecologia, zoologia, geologia, etc. Fundamentalmente usa localização como uma de suas variáveis de maior importância. A *krigagem* exige um mapa na forma de pontos, ao invés de polígonos, e preferencialmente na projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), para se analisar o alcance em unidade métricas conhecidas, que não décimos de grau. Assim, se necessita de um mapa de pontos da área de estudos, com os dados tabulares, e na projeção UTM, para melhores resultados.

Em áreas onde é difícil a coleta de um grande número de amostras, como num estuário, num lago, e se deseja entender o comportamento de toda a população, a partir dos pontos amostrados, podemos utilizar um algoritmo de simples interpolação gerando um mapa de isolinhas da concentração do parâmetro que queremos analisar. Este algoritmo tem apenas por base os valores de cada um dos pontos e as distâncias relativas entre eles. A técnica de *Krigagem* assume que os dados recolhidos de uma determinada população se encontram correlacionados no espaço até certa distância “X”. A partir desta distância “X” a correlação espacial pode deixar de existir.

Com as tabelas dos dados existentes, iniciou-se o processo de análise geoestatística, onde através do Método de Interpolação *Krigagem*, e utilizando dois pacotes de geoprocessamento o GeoMedia 6.1 e ArcView 9.3, foram gerados mapas de: MS (Material em Suspensão), Salinidade, Transparência (Secchi) e Temperatura, sendo os dados de superfície, meio e fundo organizados por épocas ou estações do ano.

Nos Anexos II e III observamos os resultados das Krigagens realizadas nos softwares GeoMedia 6.0 e ArcView 9.3 respectivamente.

CAPÍTULO 3

Natural and antropic geomorphological changes in the inlet of Patos Lagoon before and after its fixation.

Cunha, R.M.P.; Calliari, L.J. 2009.
Natural and antropic geomorphological changes in the
inlet of Patos Lagoon before and after its fixation.
Journal of Coastal Research, SI 56, Proceedings of the 10th
International Coastal Symposium, 708– 712. Lisbon, Portugal.

3.1 ABSTRACT

Comparative analysis of historical records of geocoded charts from the Patos Lagoon inlet between the years of 1883 and 1956 indicates that the shoreline at the south of the west jetty experimented a progradation of the order of 1.000 m. This effect was more intense between 1914 and 1917 stabilizing after this period. During the same period, shoreline progradation to the north of the structure reached 60 m and 13.4 m respectively at distances of 500 m and 1,000 m of the west jetty. At the inlet, significant changes occurred in the east margin which is extremely dynamic when compared with the west margin. Morphologically, prior to the jetties construction the east point displayed a convex side facing the ocean. Fixation of the east jetty reoriented the point by changing its original form to a concave side facing the ocean. Sediment volume changes between the jetties considering a width of 720 m and a length of 4,020 m during distinct years indicated differences between periods of climatic extremes. Natural deepening and siltation were respectively associated to a historical flood and a extended drought. The same behavior was identified for the sand bar nucleus which respectively increase and decrease its sediment volume according hydrodynamic changes associated to the climatic variations.

ADDITIONAL INDEX WORDS: *jetties, bathymetrics charts, GIS – Geographic Information System.*

3.2 INTRODUCTION

The possibility of geocoded historical charts of the connection channel, Northern Channel (NC) between Patos Lagoon and the Atlantic Ocean conected by hydraulic engineers of the former “Comissão de melhoramento da Barra do Rio Grande (BRG)” might offer the unique opportunity to evaluate the morphologic and volumetric changes caused by the natural and antropic hydrodynamic variations which are caused by the engineering works of fixation of the Northern Channel over that bar. The BRG system is connected to the inlet of Patos Lagoon, which access is fixated by two jetties which link the southern extremity of the Lagoon to the Atlantic Ocean (Figure 3.1).

The construction of the BRG jetties was the bigger coastal engineering work ever performed in Brazil. The studies to the construction started in 1883 and the construction itself has begun and has been concluded respectively in 1910 and 1917. Up to 1911, the works were only preliminary. The actual construction was done between 1911 and 1915, period in which the effects of the work over the BRG were visible, particularly from 1914 on, a rainy year which caused severe and longstanding ebbs in the Northern Channel. The east jetty was only concluded in the period between 1922 and 1928 (MOTTA, 1969). Both converging jetties present a south-easterly orientation and have reached in period of their conclusion the isobath of -10 m with the west jetty shorter than the eastern one, both extending respectively 4,012 m and 4,250 m from their base.

The objective of this work is to evaluate the evolution of the coastal line and the sediment volume variation in the Northern Channel and over the nucleus of the BRG during the previous and after period of the construction of the jetties (1883 to 1956), aiming at establishing possible relation between morphologic and volumetric changes, and hydrodynamic and climatologic patterns.



Figure 3.1- Location of the System of Rio Grande's Bar. Inlet of Patos Lagoon. RS. Brazil.

3.3 METHODS

Bathymetric plants of 1883 to 1956 (VASSÃO, 1959) of the region of BRG and adjacent area, were digitized in jpg format using a scanner A3. The vetorization and referenced geographically (geocoded) were performed in the GeoMedia Professional v6.0 with is a Geographic Information System(GIS) software taking as a basis Google Earth to which two plants dated 1883 and 1956 containing reference points for triangulation of the area of the construction of the jetties and its position were added. Those plants were superposed as layers and had their outlines adjusted to an Ikonos satellite available image of 2006. The standardized grid (1:20000 scale) available in all the plants containing the location of points of triangulation and the definition of a few more points in the grid, was used as reference for the extraction of 14 control points for geocoded.

For each plant were rasterized and implemented the geocoded, the calculation of the distance of the coastline with purpose of being used in the GeoMedia GRID package for carrying out the calculations of developments of the BRG and of the sediment volume between the jetties.

For the period that comprehends 1885 to 1917 we have measured the length of the spits' formation in the eastern coast of the inlet, from the beginning of embayment up to the end of the spit. The measures of width were made at a distance of 5 to 10 meters from edge of the sand spit. To the period of 1918 to 1956, we found spits only in east side of the inlet, external and internal to the eastern jetty. The measures vary according to the changes observed in the direction and extension of the spits. The length remained being measured from the beginning of embayment up to the end of the spit. The measure of the width of the external spit to the eastern jetty was performed approximately to the center of the same.

Internally to the jetty we identified the formation of two features. The first one from 1918 and the other one from 1940. The measures of the width of appearance which started their formation in 1918, internal spit second measure (Point 2) at a distance of 638 m of point 1, the third (Point 3) at a distance of 1,070 m from point 1 and the fourth (Point 4) at a distance of 1,500 m from the jetty base.

For the feature which started its formation in 1940, internal spit 2, the measure of length was carried out in the same way, that is, from the beginning of embayment up to the edge of the spit. The measure of the width in Point 1 is at the beginning of embayment, in

Point 2 is at a distance of 200 m from the point 1, in Point 3 is at a distance of 450 m from point 1, and point 4, while there were available information for the attainment of the measure, this varied from 570 m to 905 m away from the point 1.

The accretion rates of the coastline adjacent to the jetties, both external and internal, were calculated, from the definition of perpendicular profiles to the coastline and parallels among themselves, defined to intervals of 500 m, up to a maximum distance of 3,000 m, always conditioned to the existence of previous information.

The calculation of the volume of the nucleus of BRG was done from intervals of the isobathymetrics, oscillating between -1 and -8 m when the isobath was closed. Due to the great variation in the nucleus of BRG between the values of (-1,-6) m, (-4,-6) m, (-5,-9) m, a standardization was done so the values found could have a relationship and the averages were used for data comparison.

The ranges defined were: between (-1, -6) m for the period preceding the construction of jetties, and (-5,-8) m and (-6, -8) m for the period after the construction of jetties. In some specific years, it was not possible to perform the calculations within the range proposed due to the lack of information in the plant.

Through the choice of the area of study, normal periods climatology charts, flood and dry seasons, were selected, and then vectorized and rasterized, carrying the bathymetry data of BRG, generating the DEM, by Spline method (MITÁSOVÁ and MITÁS,1993). Sixty seven (67) profiles were delineated and defined to 60 m regular distances transversal to the corresponding area up to the jetties whole extension, encompassing a distance of 4,020 m.

The bathymetry information of 1914 were not sufficient to generate the calculation of volume, since in 1913 the jetties were in construction. Then the volume was generated from the first 28 profiles. In the year of 1917 were used the profiles from 1 to 63, because there were insufficient information. For the other years all 67 profiles were used, taking in account a width of approximately 720 m between the jetties' tip and an extension of 4,020 m (Figure 3.2).

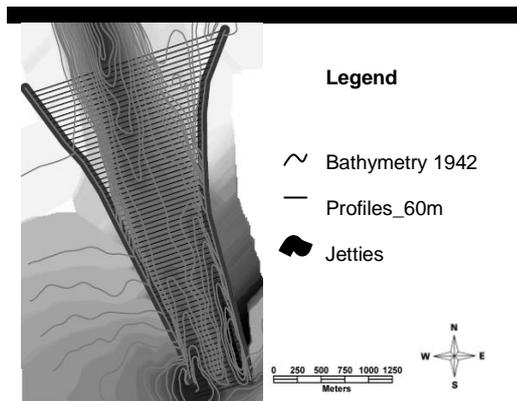


Figure 3.2 – Profiles between the jetties of BRG.

The volume calculation was performed based on closed polygons and rectangular grids of DEM from the central value of each grid cell, corresponding to height multiplied by the value of the available area. Thus, the volume is given by the equation:

$$V_t = A_c \sum_{i=1}^n Z_i$$

Where:

A_c = value of the area corresponding to each cell;

Z_i = value of the height of each cell;

n = number of cells

The calculation taking in account the bathymetry. The upper and lower parts correspond respectively the volumes of water and sediment.

The plants selected for analysis, were identified through information made available by the National Institute of Space Research (INPE) and represent years of extreme climatological events corresponding to El Niño and La Niña, as well as normal years without climatic anomalies with the goal of establishing a comparative analysis of results.

3.4 RESULTS AND DISCUSSION

3.4.1 Sand spit and coastline evolution

A comparative analysis of the coastline on plants from 1885 to 1909 (Figure 3.3(a)), earlier dates to the construction of the jetties of the BRG, show the extreme variability of coastline. It is possible to see in the eastern margin the accretion of the sand spit directed to the ocean, often penetrating into the lagoon's inlet characterizing several sequences of

formation and extinction of “Lagamar”, which is a Portuguese definition for small embayments isolated from the inlet eastern edge, evidencing an effective sand transport from northeast to southwest by means of littoral drift. On the southern side of the inlet, it is possible to perceive the effective accretion of the coastline, evidencing the effect of "hydraulic jetty" in retain the sediment source transported by the littoral drift from southwest to northeast. Such evidences were then consolidated by the work of MOTTA (1969) and PITOMBEIRA (1975), which have made more evident bidirectional characteristics of bottom sediment transport in the form of bedload along the coast of RS.

During the period of 1885 to 1915 it was possible to observe that swash bars in the west side were formed and extinct alternately. In the inlet east side the spit were always frequent and bigger in dimension, decreasing in size and forming new ones. During the period of construction of the jetties, the formation of spits began to be defined in the eastern side of the inlet with a concave profile, unlike the convex previous one which was directed to the ocean. The formation of new spits can be observed from 1918 on and later after 1940 (Figures 3.3(b) and 3.3(c)).

The external spit maintains its average length (1918 to 1956) 211.7 m and 117.3 m in width. An internal spit starts its formation with its length in 1375.9 meters in the period that comprehends the year of 1918 up to 1956 and the measures of widths average were of 154 m, 87.7 m, 109.4 m, and 86.8 m. Between 1940 and 1956 one more spit with length of 652.7 m starts to take form. The new spit has a tendency to increase its size because in the past 3 years its length was greater than 700 m, and the averages of the measures of widths were of 179.7 m, 162.2 m, 168.6 m, and 133.9 m.

During the construction of the BRG jetties (Figure 3.3(b)) it was possible to follow coastline changes, in which is possible to identify accretion of the western margins and changes in the eastern one. The second one presents little accretion near the jetty and a significant recede in more than 1,000 m from the base of the jetty. A quick change can be perceived in the period of 1911 to 1928, during the construction of the jetties, especially to the south of the structure.

For the west jetty, external to the inlet, was identified a rate of accretion the coastline of 4.74 m/year (1885-1911) (Figure 3(a)), 1.11m/year (1911-1928) (Figure 3(b)) and 1.36 m/year (1928-1956) (Figure 3(c)). Internally it was measured 1.21 m/year (1885-1911), 0.08 m/year (1911-1928) and -0.12 m/year (1928-1956).

The rates for the eastern jetty, external to the inlet, it is possible to see a recede of the coastline with a rate of erosion of -2.89 m/year (1885-1911), -1.91 m/year (1911-1928) and -0.45 m/year (1928-1956). Internally it was measured the drawback of the coastline to the north with -0.47 m/year (1885-1911), -2.82 m/year (1911-1928) and -2.13 m/year (1928-1956). At the eastern jetty, in the southern direction, the coastline progressed in 3.34 m/year (1911-1928) and 0.07 m/year (1928-1956). LÉLIS and CALLIARI (2004) verified through the analysis of aerial photographs of the coast of RS an accretion in coastline to the south of the structure in 4.10 m/year and a rate of -1.44 m/year $3,000$ m of distance north to the base of the eastern jetty.

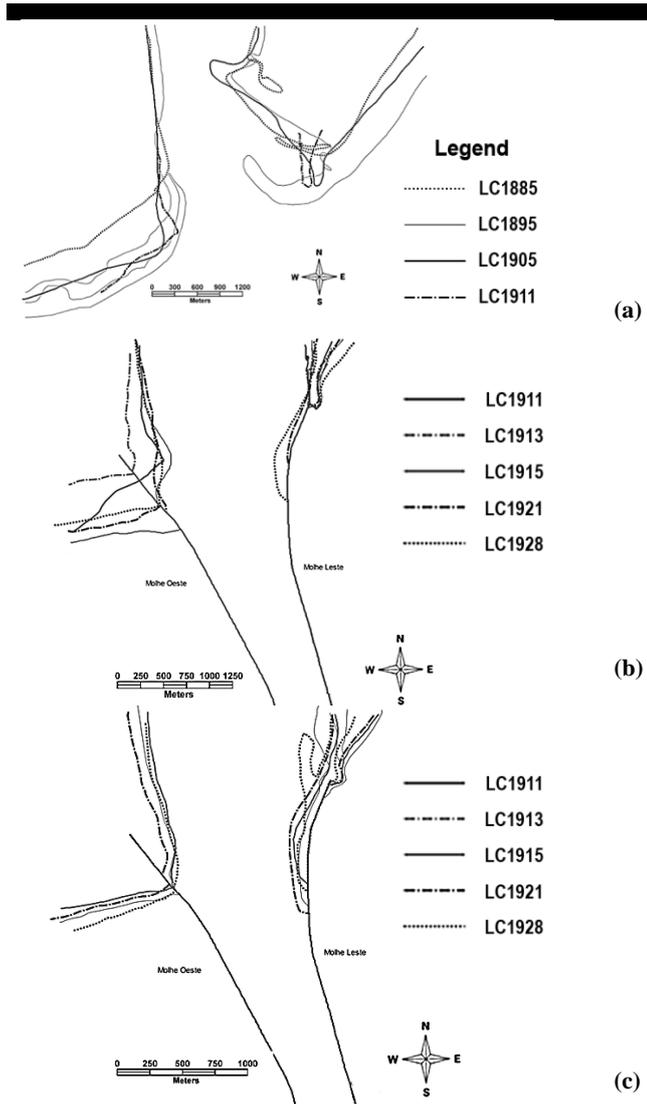


Figure 3.3 – Coastline changes before (a), during (b) and after (c) jetties' construction, from 1885 to 1956.

After the end of the construction of the jetties the changes were not as extreme as expected. What happened was a stabilization of the coastline along the western jetty and the amendments to the coastline along the eastern jetty, in which spits were formed the internal part of the jetty.

The considerable accretion to the south of the structure demonstrates the effectiveness of net sediment transport (longshore drift) pattern from southwest to northeast in this specific segment of the coast. Morphologically, the eastern spit presented a convex profile turned toward the ocean with an arenaceous sand spit which tends to extend itself within the inlet, forming features regionally denominated "Lagamares" (Figure 3(a)).

On the other hand, the fact that is possible to find a small accretion in the coastline to the north and close to the structure (500 m) with a recede at a distance of 1,000 m of the coastline itself, demonstrates the effectiveness of a secondary sediment transport from northeast to southwest. The behavior of coastline in these two sectors strengthens the bidirectional character of sedimentation transport along the coast of RS, such as MOTTA (1969) and PITOMBEIRA (1975).

Before the fixation of the jetties the sand spits had convex form facing the ocean (Figure 3(a)). The fixation of the eastern jetty on the spit reshaped itself by changing the form of the profile turned toward the ocean making it concave. Such changes are due to the amplification of flood currents during southern storms, which form currents that penetrate in the internal side of the west jetty, extending throughout all the extension between the jetties alternating the direction to northwest thereby modifying morphodynamically the spit (Figure 3(b)).

3.4.2 Evolution of the Rio Grande Bar (BRG) and Northern Channel (NC)

The amendments on the BRG and NC before the construction of the jetties (1885-1909) shows that both presented significant changes, due to the climatic and seasonal changes as a response of variations in response to the variation of the flow of the lagoon induced by the water volume in the drainage basin and by the action of oceanic undulation. As a result, it is possible to perceive that the channel in its marine portion acquired a bifurcated form, varying also its direction, migrating from southwest to southeast, remaining more time in this last position. This might indicate that the last orientation would be the best guidance, which would maximize the flow of the lagoon and consequently define the orientation of the two jetties.

The relative importance of Patos Lagoon's flux and the action of the waves due to wind direction changes were pointed out by CALLIARI (1980), showing the moment in which the winds action, especially NE, NNE and ENE converging with the axis of the lagoon, generates a water level decline in direction to the sea, working as an ebb to the hydraulic

footstep generated by the increase of the level of the lagoon to the north. Similar effects are generated by winds in the SSW and WSW quadrant which are presented with the same orientation of the axis of the lagoon, but with the opposite orientation. In this sense, a obstruction of the waters in the channel is created, establishing a strong flood flow (CALLIARI, 1980).

Using plants geocoded and SIG it was also possible to observe that the access channel remained at a maximum depth of -5 m, reaching higher depths only in the year of 1886 to -8 m, but then falling to -6 m and -7 m in the following years, between 1891 and 1894. During the construction of the jetties in 1914 and 1915, in a period of an El Niño event, it is possible to note a natural deepening of the channel to -8 m due to the increasing of the water volume in the drainage basin. A new El Niño between 1919 and 1920 deepened the channel for -9m, maintaining this depth until 1928 and changing it to -10m in 1929. From 1929, on it has remained at -10 m only changing to -14 m in 1941, year of a very strong El Niño event, which caused flood in the state. In this plants its also possible calculated the distance between the bars of 1885 and 1956, 1900 and 1956 (before and after construction); 1914 to 1928 (during construction); and from the center of the jetties to the nucleus of BRG after the effective end of the construction of two jetties in 1928. It was made the measurement of the distance of the center of the jetties (the center of the channel of access to the port of Rio Grande) and the core of BRG in 1928. This measure was performed in a period after 1928, following the end of the construction of the jetties. The bar has suffered a progressive displacement since the beginning of the construction of the jetties, while in a previous period the instability was constant. Can be observed too the displacement total variation in the period that comprehends the year of 1885 up to 1956 between the centers of BRG was 5,665 m. Between 1900 and 1956 the amplitude observed was from 5,000 m. An additional measure performed between 1909 (before the beginning of the construction) and 1956 indicated an approximate value of 5,000 m (4,926 m). The value of distance measure falls for 3,366 m in 1914, when most of the work was already done. From 1928 on, due to the end of the construction of the eastern jetty, the average distance between the central point between the western and eastern jetties and the nucleus of BRG changed to 1,767 m to 28 years (from 1928 to 1956). The 1941 flood made this displacement, moving the BRG in 527 m.

3.4.3 Volume variations at the Rio Grande Bar

Although the natural inlet of the Northern Channel was not migrating along the coast, the bar varied annually in terms of depth control, remoteness from the coastline and configuration expressed by orientation, and number and location of natural channels (Motta, 1969). In order to identify volumetric changes occurred before, during and after the construction of the jetties, volumetric calculations of the nucleus of the BRG were carried out in the period of 1885 to 1956, emphasizing both, normal and extreme climate situations.

The calculations of the volume of BRG was done corresponding to the years of El Niño, La Niña, and normal years, as well as the isobathymetric intervals. It is possible to observe that before the construction of the jetties, the extreme variability of the bar make it impossible to compare volume changes between periods of extreme climatological events. During the construction similar situations happened because of the great variability of data and also due the lack of information in some of the plants. For after the construction it was possible to define a standard pattern and verified that the volume of BRG during El Niño periods presented an average volume of 2,350,454 m³, during La Niña 2,793,821 m³, and in normal periods 2,667,500 m³. The values found present lower values than the normal period during the event of El Niño (flood period), and higher values during La Niña (prolonged drought). The lack of bathymetric verification in 1941 has prevented the determination of the volume of bar nucleus in that year. The most precise information in that year is reported by MOTTA, in 1969, when the isobathymetric position is shown as -10 m before and after the flood in 1941. It was also possible to identify that drought period had an increase of sediment in the Northern Channel and in the BRG, occurring the happening the opposite the ebb period, showing an increasing in sediment volume, both in the BRG and in the NC during periods of drought. The volume variations associated with the different periods might be explained by the variation of the hydrodynamic conditions. Flood periods in the drainage basin tend to increase the flow of the lagoon, causing "natural dredging", both at the edge of the channel and in the BRG, evidencing the predominance of the flood currents on the wave undulatory regime. Contrarily, prolonged drought periods may favor the action of undulations, which tend to sediment transport towards right to the inlet.

During and after the jetties' construction, the BRG suffered a progressive displacement holding off from the inlet and the edge of the jetties after the end of their construction. From 1885 to 1909, the total displacement before the beginning of the jetties' construction was of 759 m. From 1911 to 1928, during the jetties' construction the

displacement was of approximately 6,000 m, and after the end of the construction, from 1930 to 1956, the average displacement was of 1,500 m.

3.4.4 Sedimentation volume between the jetties

The calculation of volume between the jetties has shown that in extreme climatological periods, characterized by El Niño periods, culminating with the historic flood of 1941, the sediment volume above the depth of -25 m presented values of the order 67,936,800 m³ in 1919, 65,394,622 m³ in 1941, and 76,626,202 m³ in 1947. In the passage of La Niña, which culminated with the drought of 1917, the values were of 77,797,674 m³ in 1917, 75,118,230 m³ in 1939, and 73,083,410 m³ in 1954. In normal periods such as 1915, 1921, 1942 and 1943 it is possible to obtain, respectively, the values of 79,094,864 m³, 70,396,572 m³, 66,473,434 m³, and 67,893,629 m³. While making the calculation the arithmetic mean on the found values, it is possible to identify 69,127,615 m³ in El Niño periods, 74,218,752 m³ in La Niña period, and 71,654,607 m³ in normal periods. The values found for the seasons in which had the presence of El Niño are lower than the values found for normal periods, and during La Niña periods those values are even lower and smaller than in the normal periods. It is possible to verify though the values of the volumes found, that there is sediment deposition during the dry season and erosion during the flood period. In normal periods, an intermediated volume between these extremes was found. Such comments are based in the flow data measured in the channel since the discharge of fresh water is the main control of the sediment volume in the lower portion of the estuary.

The values achieved by the discharge of freshwater vary from 700 m³ s⁻¹ during periods of prolonged drought (from the end of December to March) reaching values of 3,000 m³ s⁻¹ during the spring (September up to the beginning of December). In periods of floods in the drainage basin, the discharge of freshwater reaches values higher than 4,000 m³s⁻¹, with the annual average of 2,000 m³s⁻¹. In 1941, during the great flood, flow values measured in the inlet reached 20,000 m³s⁻¹. (MOTTA,1969) The volume of sediment that were moved during the construction period of the jetties was of 12 million cubic meters, moving the nucleus of BRG toward the sea (MOTTA,1969).

The periods in which the El Niño phenomenon happens in the south of Brazil are marked by the intensification of rains that cause the outflow of the drainage basin at Patos Lagoon. North, N-NE, NE and E-NE, blow in the direction of the length of the Northern Channel, boosting the waters of the Lagoon to the channel, raising the level of the incoming

section of the channel. The NE winds entail double favorable effect on the outflow of the ebb: they raise the level of water in the incoming section of the Northern Channel and reduce the level of the sea. In the period in which the meteorological phenomenon La Niña happens, shortages and great droughts during intense abnormally dry weather are very common. S-SW, SW and SW-W winds generate flood's inflow, reducing the Northern Channel level and raising the level of the sea.

3.5 CONCLUSION

The analysis of the variation of the coastline shows that the construction of the jetties has changed the geomorphology of the system of BRG, causing a great accretion in the coastline to the south of the structure and a small increase to the north, close to the base of the jetty. According to such information, it is possible to perceive the predominance of coastal transportation from southwest to northeast in the sector of the coast of RS.

The implantation of the jetties to fixate the passing over the bar entailed morphological changes, especially in the eastern spit. Such changes reflect changes in the hydrodynamic patterns, which might be associated with the construction of the structures which have become barriers for the littoral drift and caused the amplification and change in the direction of the flood currents.

The values found for the volumes between the jetties and on the nucleus of BRG during the analyzed period demonstrate the mobile characteristic of the BRG, which suffers a continuous morphodynamic adjustment. The annual variations of volume are very sensitive in relation to the annual variability of hydrodynamic agents represented by ebb currents and undulatory movements responsible for the input and withdrawal of sediment of the system.

According to the performed calculation and the found values, it was possible to perceive that these meteorological phenomenon El Niño in 1941 and La Niña in 1917, have influenced respectively in the decrease and increase of the volume of sediment deposited at the end of the Northern Channel and the BRG.

3.6 LITERATURE CITED

CALLIARI, L. J. 1980. Aspectos Sedimentológicos e Ambientais na Região Estuarial da Laguna dos Patos. Porto Alegre. RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Geociências.

LÉLIS, R.J.F., CALLIARI, L. J. .2004. Historical Shoreline Changes Near Lagoonal and River Stabilized Inlets in Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39. p301-305.

MITÁSOVÁ, H., MITÁS, L. 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation. *Mathematical Geology*, Vol. 25, No.6. New York. USA. p641-655

MOTTA, V.F. 1969. Relatório-Diagnóstico sobre a melhoria e aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande ao DEPREC. Porto Alegre, RS: IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 114p.

PITOMBEIRA, E.S. 1975. Estimativa do Volume Anual de Transporte Litorâneo na Costa do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 110p.

VASSÃO, C.M. 1959. Plantas da Barra do Rio Grande. Anos de 1883 a 1956 e 1814, 1849, 1866, 1875 e 1881, do Ministério da Viação e Obras Públicas do Departamento Nacional de Portos Rios e Canais – 18º distrito de Rio grande – DEPREC. Rio Grande.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS E ANÁLISE FATORIAL MODO-Q EM SEDIMENTOLOGIA NA CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES DEPOSITACIONAIS DO ESTUÁRIO DA LAGUNA DOS PATOS, RS, BRASIL.

Cunha, R.M.P.; Calliari, L.J. 2009
Artigo a ser submetido a Revista Pesquisas da UFRGS

4.1 RESUMO

A Análise Fatorial Modo-Q aplicada a 262 amostras de sedimentos de fundo do estuário indica que 5 fatores representam 95% da variabilidade dos dados. O comportamento de cada fator no corpo estuarino através da análise conjunta da geoestatística Krigagem e batimetria mostra que sua distribuição espacial é influenciada pela variação do nível de energia hidrodinâmica, geomorfologia e herança geológica. O fator 1 que contém maior concentração de areia fina e muito fina mostra-se mais presente em zonas de profundidade rasa e próximo a pontais arenosos. O fator 2 cuja composição varia entre areia fina e média apresenta gradiente crescente para a margem leste do estuário, predomina em áreas rasas e bancos, sujeitas a maior energia ondulatória. O fator 3 cresce na direção dos canais e para a região média do estuário identificando a presença de argila siltica, caracterizando assim zonas de menor hidrodinâmica onde a deposição de finos é mais intensa. O fator 4 apresenta uma mistura de grãos finos, e grosseiros com gradiente crescente em direção a oeste indicando ambos, herança geológica e locais de erosão acentuada particularmente nas praias localizadas no noroeste do estuário (Barro Duro e Colônia Z3). O fator 5 apresenta a predominância de grãos silticos e argilosos presentes na margem oeste do estuário junto ao CSG (Canal do São Gonçalo) comunicação da Laguna dos Patos com a Lagoa Mirim, e no Canal do Norte junto ao Porto de RG .A distribuição dos fatores e percentagem das cargas fatoriais por faixa batimétrica representam de forma mais precisa e real a composição dos sedimentos de fundo do estuário especialmente em zonas onde predominam sedimentos polimodais.

4.2 INTRODUÇÃO

Estudos sedimentológicos na caracterização da dinâmica ambiental amplamente utilizada nas décadas de 50 e meados da década de 60 eram baseados na estatística paramétrica os quais muitas vezes forneciam medidas pouco precisas quando sedimentos com mais de uma moda eram encontrados.

A metodologia da Análise Fatorial implementada por Klován (1966), Davis (1970), utilizou mais informações de uma distribuição granulométrica produzindo resultados mais efetivos, com maior acurácia, possibilitando a investigação dos padrões da distribuição do tamanho de grão definindo resultados através do histograma. A maior vantagem na utilização do Método de Análise Fatorial é a possibilidade de análise de um grande número de amostras com n variáveis com a propriedade de reduzir a dimensionalidade dos dados representando-as através de um número menor de fatores os quais explicam de forma mais precisa a variabilidade dos mesmos e permitem interpretações mais objetivas.

Como salientado por Davis (1984) apud Landim (2006), os métodos multivariados são poderosos, permitindo o pesquisador manipular diversas variáveis simultaneamente. São, porém, bastante complexos, tanto na sua estrutura teórica como na metodologia operacional. De qualquer modo, são métodos extremamente promissores para a análise de dados geológicos tendo em vista que normalmente a maioria das situações geológicas envolve um conjunto complexo de fatores atuando no sistema, sendo impossível estudá-los isoladamente.

A contribuição da dinâmica do ambiente e da morfologia pode ser inferida através dos componentes principais que identificados através dos autovalores e autovetores mostram as propriedades geométricas do arranjo das amostras. Geologicamente a explicação é dada em função de que cada fator pode ser associado a tipos de sedimentos que se distribuem em uma determinada região com características específicas de profundidade e dinâmicas diferentes. A partir destas informações pode-se identificar no espaço geográfico onde esta distribuição ocorre e quais parâmetros físicos estão envolvidos, determinando-se ambientes diversos de sedimentação.

Vários trabalhos desenvolvidos no estuário da Laguna dos Patos tais como: Martins, 1971, Calliari et al. 1984, Antiqueira e Calliari, 2005, caracterizaram os sedimentos de fundo associando sua distribuição às características batimétricas e hidrodinâmicas do ambiente. Estes estudos utilizaram fundamentalmente a estatística paramétrica para identificar os

ambientes deposicionais e indiretamente os processos atuantes nos mesmos. Embora bastante elucidativos esses trabalhos desenvolvidos com a sedimentologia clássica não utilizaram todas as informações contidas nas análises granulométricas. Mais informação pode ser obtida dessas análises na tentativa de quantificar de maneira mais real os tipos de fundo associados aos diversos ambientes que compõe o estuário da Laguna dos Patos (Fig. 4.1).

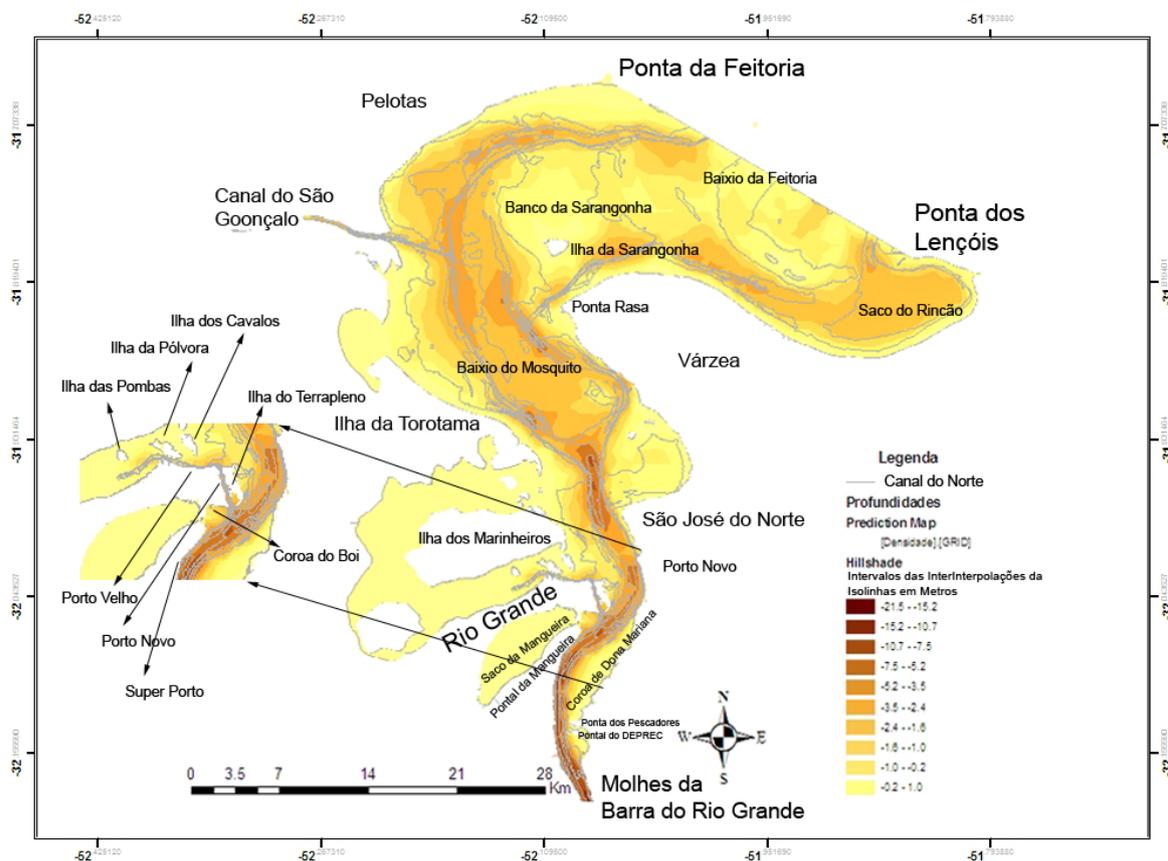


Figura 4.1 Estuário da Laguna dos Patos.

O objetivo deste trabalho é aplicar a Análise Fatorial Modo-Q em 327 amostras, coletadas durante o período de dezembro de 1975 a maio de 1979, distribuídas em toda a extensão do estuário da Laguna dos Patos obtendo assim uma distribuição granulométrica mais real que caracterize e represente as situações energéticas dos diferentes sub-ambientes estuarinos. Objetiva-se também através de novas técnicas de geoprocessamento e geoestatística verificar a localização dos principais fatores definindo áreas no espaço geográfico e os gradientes em torno dos mesmos, na tentativa de proporcionar novas interpretações para os padrões de sedimentação no estuário.

4.2.1 Análise fatorial na sedimentologia

Análise Fatorial (AF) é o termo genérico de uma técnica multivariada, cujo propósito primeiro é a redução de dados e sumarização. Esta técnica analisa as relações entre variáveis e tenta explicá-las em termos de suas dimensões subjacentes comuns (fatores). É uma técnica de interdependência, não sendo explicitada uma variável dependente (Hair, 1995). A **AF** tem sido utilizada extensivamente na Geologia por esta produzir conjuntos de dados consistindo essencialmente em proporções. A **AF Modo-Q** é um tipo de **AF** que identifica a inter-relação entre os objetos dentro de um grande conjunto de dados. As amostras são agrupadas pela similaridade de seus atributos, simplificando um conjunto complexo de dados determinando o número mínimo de dimensões independentes necessárias para considerar o máximo de informações da matriz de coeficientes de similaridade entre amostras (Moustafa, 1988). A matriz $\cos \theta$ contém toda a informação dos relacionamentos entre os vetores da amostra. Quando dois vetores da amostra são colineares o ângulo entre eles é zero e o co-seno é 1, indicando a similaridade perfeita. A metodologia da Análise Fatorial Modo-Q foi amplamente utilizada para análise de ambientes de sedimentação tanto antigos como atuais devido ao caráter mais objetivo da técnica a qual apresenta muitas vantagens em relação a análise estatística paramétrica. A análise paramétrica analisa um grupo de amostras resultando numa única informação (como a média, desvio padrão, mediana), baseadas em apenas alguns pontos da curva granulométrica. Diferentemente, na Análise Fatorial Modo-Q toda a informação granulométrica é considerada (classes de tamanho as quais são as variáveis usadas na matriz original ou bruta). Essas classes ou variáveis são então reduzidas a um número de fatores independentes que representam combinações das variáveis originais. Esses fatores explicam grande parte da variabilidade dos dados reduzindo assim a dimensionalidade dos dados proporcionando uma interpretação mais real e objetiva. O método tem o propósito de agrupar amostras similares as quais tem o mesmo comportamento. A importância relativa de cada fator é determinada e estabelecida uma ordem dentre as possíveis causas do fenômeno observado. É mostrado o relacionamento entre amostras e fatores os quais são compostos da combinação das variáveis e identificado o conjunto composto pelas amostras que representam os membros-extremos. Desenhando os membros extremos de acordo com sua localização, pode-se inferir sobre condições energéticas de deposição de grãos. Assim, diferentes ambientes e sub-ambientes podem ser interpretados de forma mais objetiva.

Klovan (1966) utilizou Análise Fatorial Modo-Q para determinar o regime de energia hidráulica da Baía de Barataria, Louisiana baseado na tendência encontrada na

distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo. Sem conhecimento anterior do ambiente onde foram coletadas as amostras, Klován conseguiu associar cada fator à energia predominante no ambiente deposicional, identificando as amostras representativas de processos ondulatórios (Zona de Surf), ambientes abrigados em canais com energia gravitacional (amostras depositadas em suspensão) e ambientes dominados por correntes.

Segundo Solohub e Klován (1970), o sucesso do método resulta de alguns fatores como: o padrão dos gráficos bivariados não pode expressar adequadamente os processos complexos produzidos pelas peculiaridades das distribuições de tamanhos de grãos; os parâmetros dos tamanhos de grãos são meramente descritores das distribuições granulométricas. Como tal eles não podem conter todas as informações disponíveis, nem mesmo as mais corretas que possibilitem melhorar a determinação do ambiente; e com pouca informação da curva granulométrica obtido pelos parâmetros estatísticos, um tipo particular de energia cinética pode produzir distribuições similares em ambientes diferentes.

Dal Cin (1976) utilizou a análise fatorial para determinar as tendências de erosão e acreção ao longo de praias, através da análise granulométrica de 179 amostras. A identificação de dois tipos de distribuição granulométrica permitiu identificar níveis diferentes de energia e a variação da deposição de sedimentos nas duas praias, objetivando a identificação de episódios de erosão e acreção.

Moustafa (1988) aplicou Análise Fatorial Modo-Q para medir a variação espacial e temporal da distribuição granulométrica observando a dinâmica dos processos na zona de espraiamento através de dois ciclos de maré numa praia de composição polimodal. Segundo a autora, pequenas variações na granulometria em condições de alta e baixa energia de onda e sobre estágios de preamar e baixa-mar quando plotados numa série temporal exibem migração espacial sistemática de certos grupos sedimentares (fatores) através da face praial, os quais são controlados pelo estágio da maré agindo seletivamente sobre os tipos de sedimento.

Calliari (1990) e (1994) utilizando Análise Fatorial Modo-Q comparou o padrão de sedimentos ao longo das praias da Carolina do Norte entre Corolla e Oregon Inlet identificando características bimodais com areais média e fina nas proximidades de Duck, e unimodal na praia de Coquina areia média e fina. Os resultados indicaram que sedimentos grosseiros se concentravam no pós-praia, e os sedimentos finos se concentravam em direção ao continente ou em direção ao mar, mostrando também a existência ao longo da costa de várias fontes de sedimentos relíquias grosseiros. Calliari identificou que os sedimentos depositados na praia ao

longo do período geológico recente, é responsável pelas diferenças no comportamento morfodinâmico ao longo da costa.

Castaing e Klingebiel (1972) utilizaram a Análise Fatorial para interpretação da distribuição de dados de tamanho de grãos antigos e atuais da plataforma continental ao longo do estuário de Gironde na França. As amostras foram agrupadas em três fatores que correspondiam a diferentes fácies sedimentológicas representadas por sedimentos relíquias de sistemas flúvio-marinhos, sedimentos finos representando aporte atual e o terceiro fator representando a ausência de relação com a distribuição sedimentar regional.

4.2.2 Distribuição espacial dos dados

As técnicas da estatística clássica assumem que todas as amostras são aleatórias e independentes de uma distribuição de probabilidade simples – esta suposição é chamada estacionaridade. Sua aplicação não envolve qualquer conhecimento da posição atual das amostras ou do relacionamento entre amostras. Já a geoestatística assume que a distribuição das diferenças de variáveis entre dois pontos amostrados é a mesma para todo o depósito, e que isto depende somente da distância entre eles e da orientação dos pontos (YAMAMOTO, 2001).

A regionalização dos dados consiste em apresentar as variáveis sob um aspecto aleatório consistindo de variações altamente irregulares e imprevisíveis, e um aspecto estruturado refletindo as características estruturais do fenômeno regionalizado. A representação destas características através de sua variabilidade espacial, isto é, sua variação de um lugar a outro com continuidade aparente, pode ser realizada através de técnicas estatísticas de interpolação, como a Krigagem.

Segundo Neto (2008), extrair rapidamente informações de grandes conjuntos de dados é, hoje, uma demanda crescente devido ao aumento da capacidade de geração de dados por sensores e outras fontes. A alta dimensionalidade e a grande quantidade de registros contidos nas bases de dados atuais são problemas não triviais na busca e extração de “conhecimento”.

Em Geologia a grande quantidade de informações medidas em vários ambientes, e em função da diversidade de “elementos” interagindo, fazem com que a análise de dados se torne multidisciplinar exigindo grande esforço e conhecimento para que possa fazer análises incluindo todos os parâmetros geológicos e ambientais os quais são encontrados no ambiente de estudo (NETO, 2008).

A aplicação da Krigagem em dados de sedimentologia torna possível a identificação das características do ambiente deposicional, pois os dados coletados contemplam as informações espaciais necessárias a serem inseridas. A espacialização dos dados pode ser efetuada através da definição de unidades espaciais verificando nestas unidades ou áreas qual a contribuição dos fatores.

4.3 METODOLOGIA

As informações analisadas através da AF são dados de sedimentos, da região estuarina da Laguna dos Patos, no RS, Brasil. Estas informações foram coletadas durante o período de dezembro de 1975 à maio de 1979, constando de 327 amostras em 16 cruzeiros. Organizou-se um Banco de Dados onde constam a identificação do navio e do Cruzeiro realizado, a data da coleta e localização da amostra, a profundidade local, e os resultados das análises de laboratório onde as amostras foram peneiradas em intervalos de 1/4 phi.

Foi construída uma rotina no Matlab onde foi implementada a análise fatorial Modo-Q salvando as matrizes geradas e os gráficos correspondentes. Após a primeira execução da rotina, selecionamos 262 amostras que se caracterizam pela comunalidade acima de 0.7, valor este ideal para a obtenção de um resultado mais preciso devido ao grande número de amostras.

As amostras representativas dos fatores foram inseridas no software Sysgran 3.0 realizando-se análise estatística paramétrica (Curva Acumulada, Diagrama de Shepard, e Diagrama de Pejrup).

Todas as amostras identificadas pelos fatores correspondentes foram inseridas em um SIG e georreferenciadas. Identificou-se que as amostras representativas de cada fator encontram-se distribuídas em vários ambientes em toda região do estuário. A fim de determinar as características destes ambientes foi realizada a Krigagem de cada um dos conjuntos de amostras dos fatores e definidas zonas de transição em função da profundidade e hidrodinâmica, como zona Interna Rasa de 0 a 2m que sofrem a ação das ondas sobre o fundo, zona Interna Média de 2 a 4m, zona Interna Profunda de 4 a 6m, zona de Canal de 6 a 14m e zona de Canal Profundo de 14 a 20m. Os resultados obtidos pela AF foram inseridos num SIG onde foi executada análise Geoestatística através da Krigagem, a fim de determinar as condicionantes de cada fator dentro da região do estuário.

4.4 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Analisando-se a tabela 4.1, observa-se que 7 fatores explicam 97% da variabilidade dos dados.

Os Autovalores (Eigen values) são os valores próprios que expressam a variância de cada componente. Autovalores significativos são aqueles maiores que 2 e que explicam mais de 97% das informações. Na verificação do número de componentes principais (fatores) a serem extraídos, aplicou-se o método das raízes latentes (autovalores), e o teste scree (Fig 4.2).

Tabela Autovalores			
	Autovalor	%Informação Explicada	%Informação Acumulada Explicada
1	162.6983	62.0986	62.0986
2	42.9006	16.3743	78.4728
3	34.4644	13.1543	91.6272
4	6.2361	2.3802	94.0074
5	4.0442	1.5436	95.5509
	2.5858	0.9869	96.5379
	2.2494	0.8585	97.3964
	1.4267	0.5445	97.9409
	1.3217	0.5045	98.4454
	0.9897	0.3778	98.8232
	0.7818	0.2984	99.1216
	0.6335	0.2418	99.3634
	0.5009	0.1912	99.5545
	0.4637	0.177	99.7315
	0.4028	0.1538	99.8853
	0.1636	0.0625	99.9477
	0.0564	0.0215	99.9693

Tabela 4.1. Tabela dos Autovalores

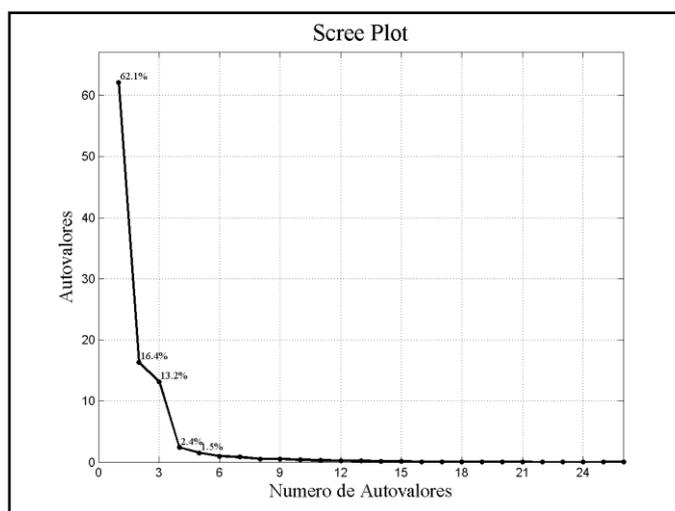


Figura 4.2 - Teste Scree

O Teste Scree permite, de forma visual, evidenciar o fato de que no máximo 5 fatores explicam a variância total e que outro fator adicional não contribuirá muito mais para explicar a variância total dos dados, dado que, a partir do fator 6 a reta é quase horizontal.

Observa-se na tabela 4.1 que 5 fatores explicam 95.5% da Informação, e o teste scree indica também a extração de 4 a 5 fatores. Escolheu-se então 5 fatores para explicar o conjunto de dados, pois os 2% a mais que seriam incrementados se utilizados 7 fatores identificados pelo cutoff (autovalor maior ou igual a 2), correspondem a apenas 1.8% das amostras o que não seria relevante para os resultados finais.

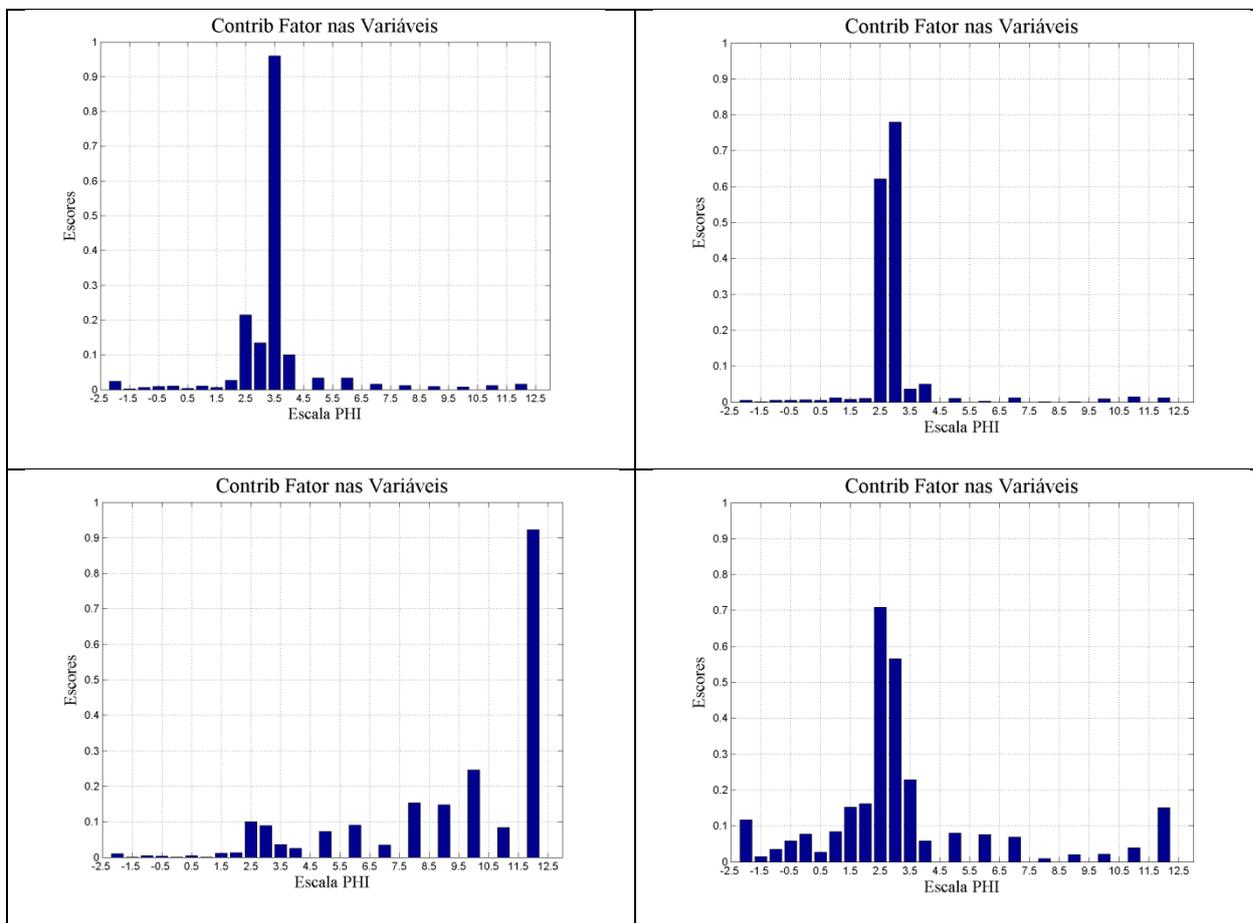
Tabela Escores Rotacionados Varimax					
Variáveis (x)	Fator1	Fator2	Fator3	Fator4	Fator5
-2	-0.024	-0.005	-0.010	-0.117	-0.014
-1.5	-0.002	-0.001	-0.001	-0.014	0.002
-1	-0.006	0.005	-0.005	-0.034	0.011
-0.5	-0.009	0.005	-0.003	-0.058	0.017
0	-0.010	0.007	0.000	-0.077	0.015
0.5	-0.003	0.005	-0.005	-0.026	0.007
1	-0.010	0.011	-0.001	-0.084	0.011
1.5	0.006	0.008	0.012	-0.153	-0.013
2	0.027	-0.011	0.012	-0.162	-0.021
2.5	0.215	-0.622	0.100	-0.708	-0.098
3	-0.134	-0.780	-0.089	0.565	0.091
3.5	-0.960	-0.036	0.036	-0.228	-0.025
4	-0.100	0.050	0.025	-0.058	-0.167
5	-0.034	-0.011	0.072	0.080	-0.679
6	0.033	-0.002	-0.091	0.076	-0.496
7	0.016	-0.011	-0.035	0.069	-0.348
8	0.011	0.000	-0.153	0.009	-0.150
9	0.008	0.001	-0.148	0.020	-0.130
10	0.007	-0.009	-0.247	-0.022	-0.039
11	0.012	-0.015	-0.084	0.039	-0.280
12	-0.015	0.011	-0.923	-0.150	0.065

Tabela 4.2 – Matriz dos Escores Fatoriais após rotação Varimax.

As variáveis com comunalidades inferiores a 0.4 tem pouco em comum com as outras e não são bem explicadas pelas componentes ou fatores devendo sair da análise. Os eixos mutuamente ortogonais são chamados de eixos dos fatores. Os eixos são determinados para explicar o maior número de informações e normalmente ou raramente se encontram em posições que mostrem o real valor dos relacionamentos, então a opção é rotacionar os eixos a fim de facilitar a interpretação dos resultados. A técnica de rotação utilizada foi o procedimento

Varimax (Kaiser Varimax rotation, segundo Davis,1973). Os fatores são rotacionados em torno da origem até o sistema ser alinhado ao máximo com os grupos de amostras (Rummel,1966 apud Calliari, 1994). Os escores fatoriais representam a contribuição de cada fator na variável. Pode-se identificar na tabela 2 quais os fatores que representam melhor cada variável. O fator 1 representa o conjunto de amostras nas quais predomina variável $\phi=3.5$ enquanto o fator 2 as variáveis $\phi= 3$ e $\phi=2.5$ é que estão mais presentes no conjunto.

Constata-se pelo valor dos escores (tabela 4.2), que a contribuição do fator 1 é maior para a variável ϕ 3.5, o que identifica-se na figura 4.2a; o fator 2 contribui mais significativamente para as variáveis ϕ 2.5 e ϕ 3 conforme observa-se na figura 4.2b; o fator 3 está relacionado com as variáveis com ϕ acima de 5 com maior peso em ϕ 12 (Fig. 4.3c), o fator 4 apresenta contribuição maior entre ϕ -1 e ϕ 2.5 (Fig. 4.3d) e o fator 5 em ϕ 5 mas distribuído entre ϕ 5 e ϕ 11.



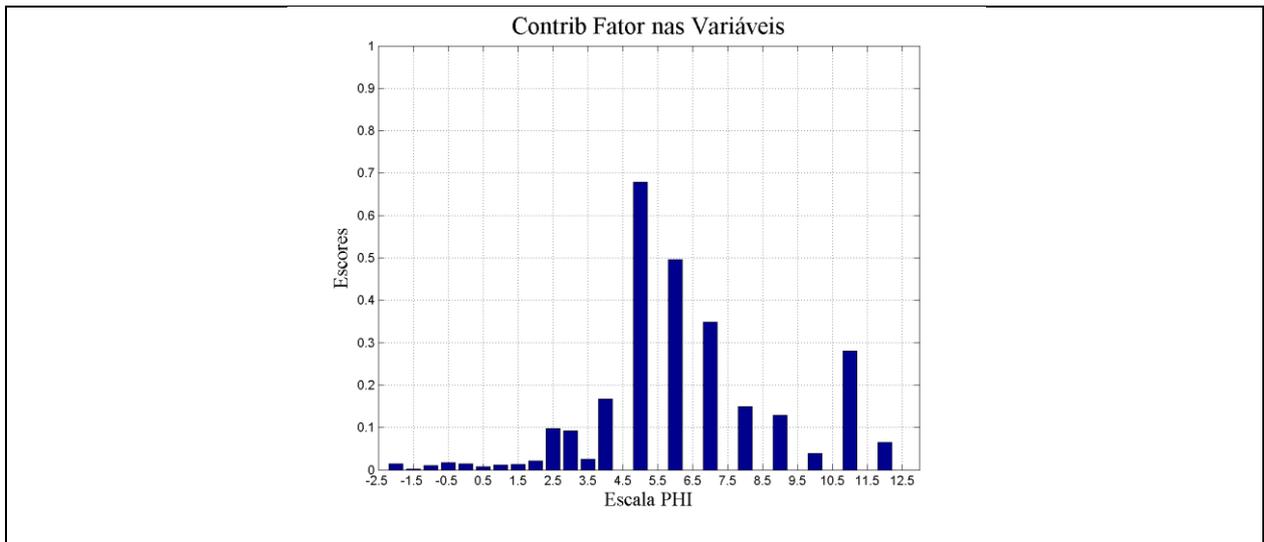
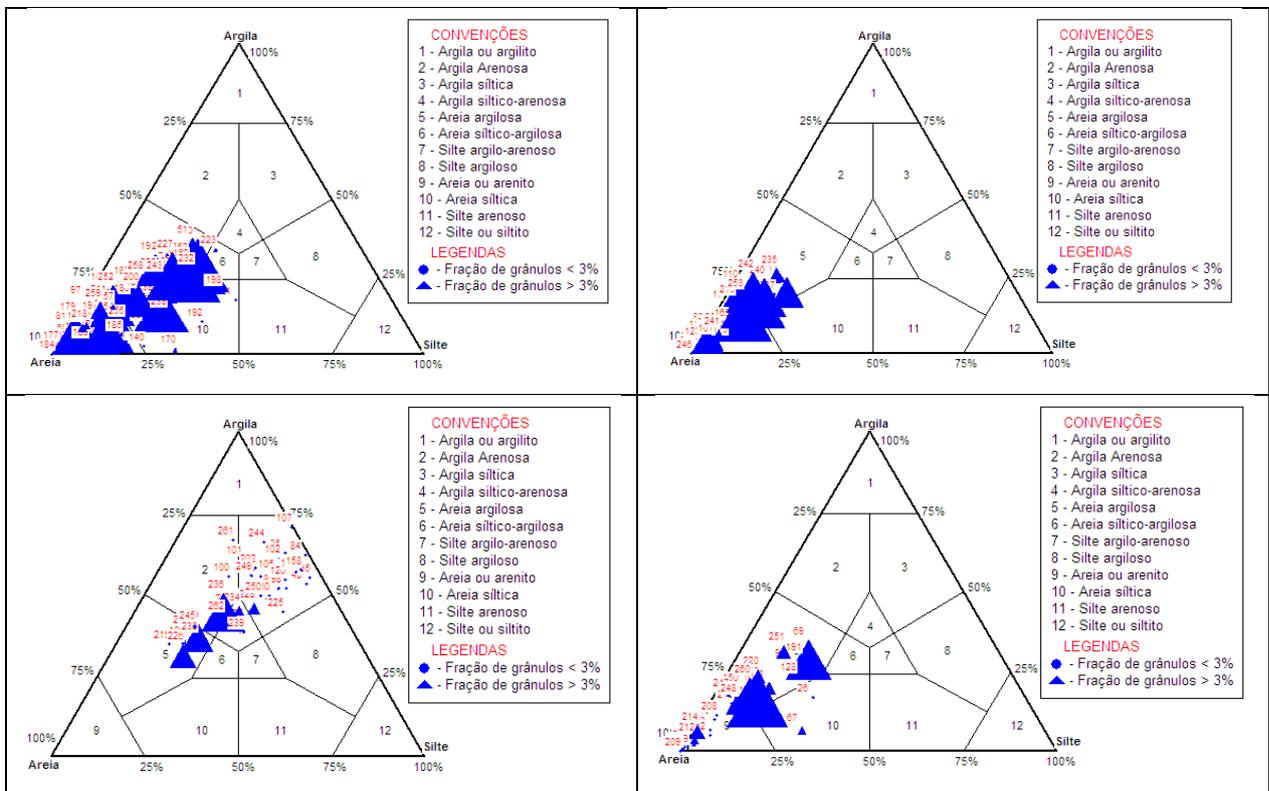


Figura 4.3 abcde - Histogramas representativos dos Escores rotacionados para os fatores 1, 2, 3, 4 e 5.

A partir da escolha dos 5 fatores foram gerados através do software Sysgran 3.0 os diagramas de Shepard (Fig. 4.4(abcde)) o qual sendo puramente descritivo, sem preocupação com a hidrodinâmica, pode-se visualizar e caracterizar bem os fatores em relação ao tipo de sedimento que está sendo definido.



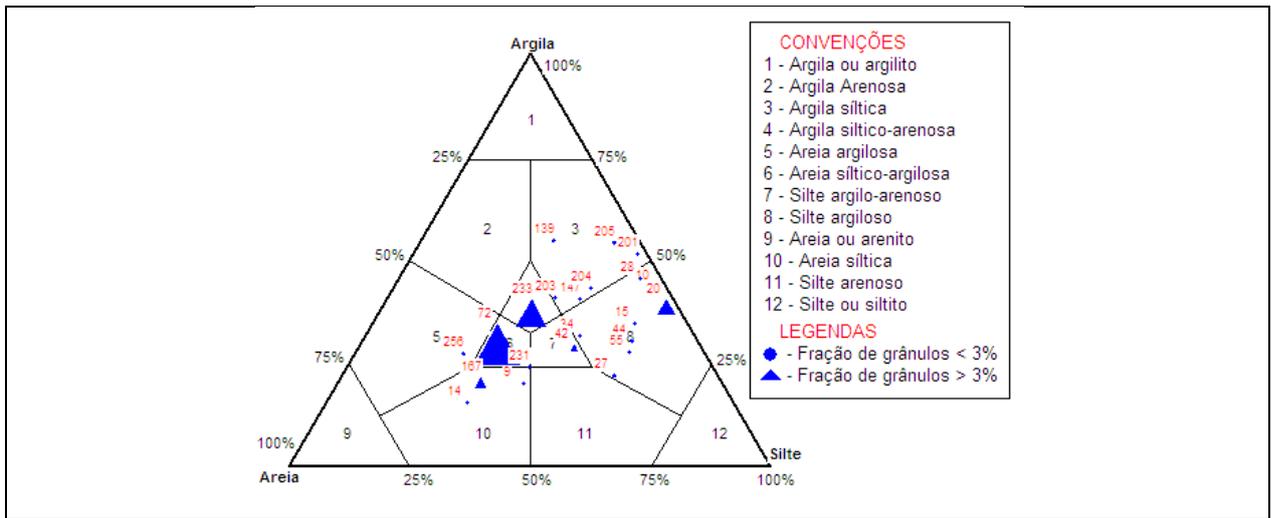
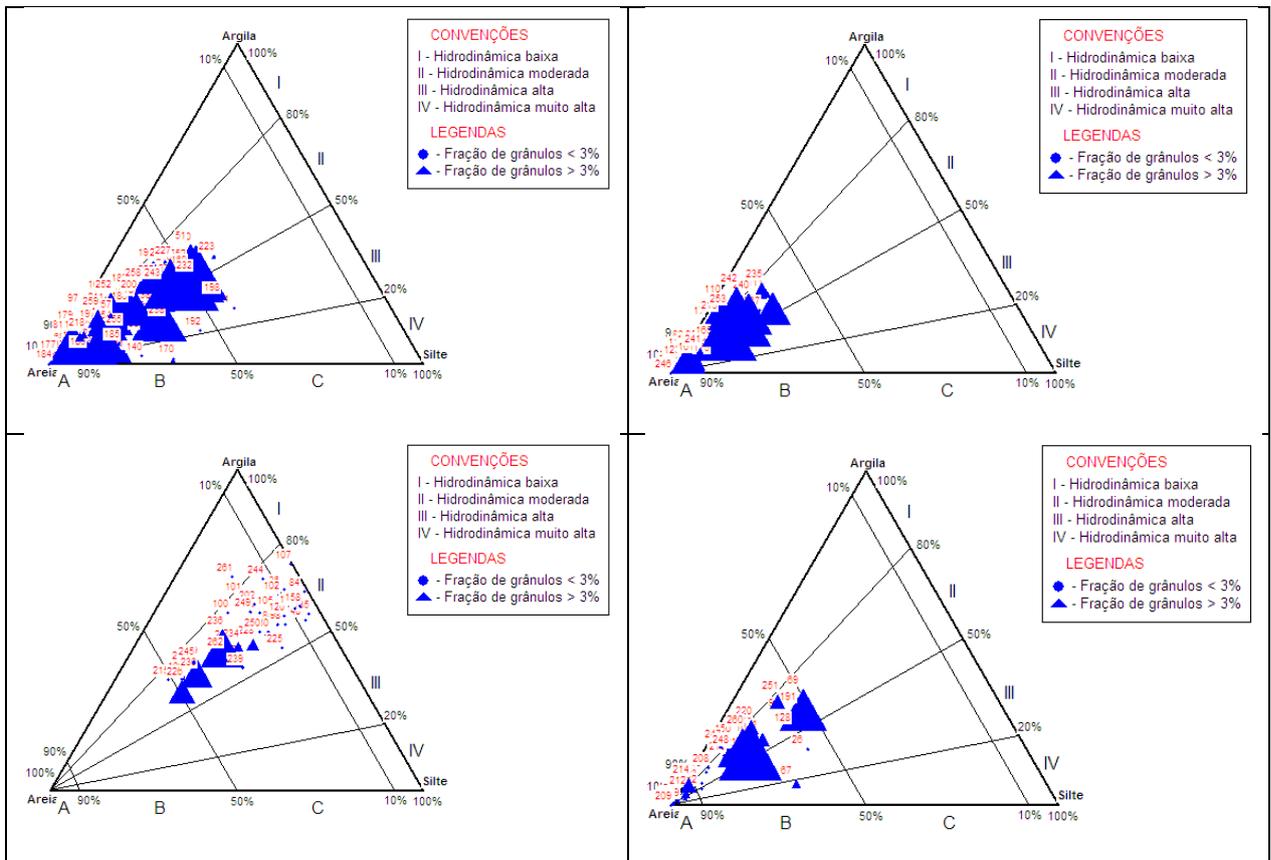


Figura 4.4 abcde - Diagrama de Shepard representativos dos fatores 1, 2, 3, 4 e 5.

Através do Diagrama de Pejrup Figura 4.5 (abcde) que faz uma análise da contribuição da hidrodinâmica na distribuição das variáveis nas amostras, podem-se identificar os níveis energéticos que condicionam a deposição dos sedimentos, utilizando a percentagem de areia, observou-se qual a contribuição hidrodinâmica em cada fator.



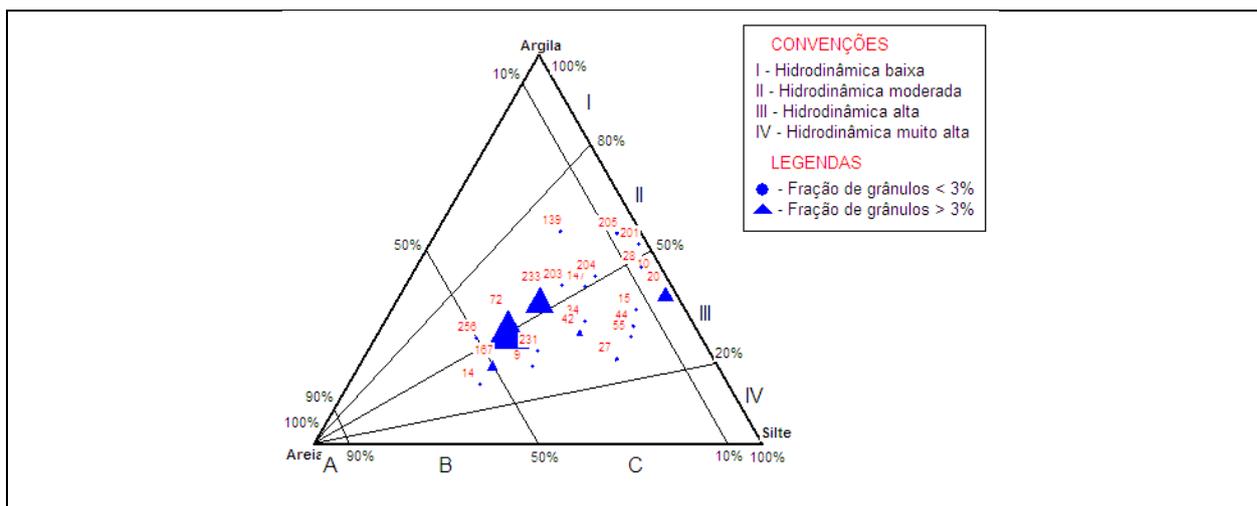


Figura 4.5 abcde - Diagrama de Pejrup representativo dos fatores 1, 2, 3, 4 e 5.

4.4.1 Definição dos Membros Extremos (End Members)

Após a rotação ortogonal (Varimax) ser completada e os fatores mais extremos se tornarem evidentes, é possível fazer com que os fatores coincidam com as amostras mais extremas. A solução é realizada através da rotação oblíqua, segundo Rummel, 1966. Na rotação oblíqua os fatores são rotacionados individualmente até coincidirem com cada grupo distinto das amostras reais. Desta maneira o conjunto de dados pode ser denormalizado e as cargas fatoriais expressadas como amostras verdadeiras visualizadas em termos do número reduzidos de fatores.

Com a rotação oblíqua identifica-se quais são os membros extremos (end-members), isto é, as amostras que possuem carga igual a 1 são chamadas de membros extremos, e significam as amostras que melhor representam aquele fator ou grupo de variáveis que são definidas por este fator.

Fator	Amostra					
1	172	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	46	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	261	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
4	176	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
5	44	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Tabela 4.3 - Membros extremos

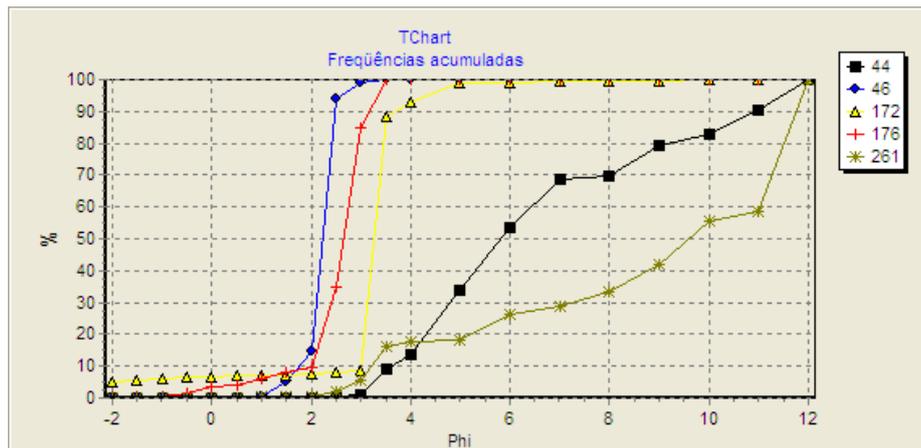


Figura 4.6 - Curvas Acumuladas representativas dos Membros extremos – F1-Amostra 172; F2-Amostra 46; F3- Amostra 261; F4- Amostra 176; F5- Amostra 44

Os membros extremos podem ser bem diferenciados através da curva de frequência acumulada (Fig. 4.6) obtida no software Sysgran3.0, que representa os processos deposicionais operantes nos sub-ambientes do estuário (rolamento ou arraste, saltação ou suspensão).

4.4.2 FATOR 1

Verifica-se a predominância do fator 1 (Fig. 4.7) em regiões do estuário que sofrem ação direta de correntes de maré, ação do vento, de ondas de período curto e de correntes e junto a pontais arenosos. O membro extremo se encontra a uma profundidade de -4.5m, e localiza-se pouco acima da ponta dos Lençóis na margem Leste do estuário, próximo a um pontal arenoso crescente que está sujeito a uma pista de vento nordeste e sudoeste longa, com hidrodinâmica intensa durante períodos de vazante, região logo acima do limite do estuário e da Laguna dos Patos onde a profundidade é muito pequena e de transição cuja fácies é de areia muito fina, a origem é das areias das margens dos pontais que atuam no corpo lagunar. Os grandes bancos e regiões rasas próximas aos pontais recebem a contribuição de areia das dunas através da ação dos ventos dominantes de NE e SE. Pelo gráfico de Barras sobrepostas e cada Barra representativa de uma zona de batimetria pode-se identificar um decréscimo progressivo das margens em direção aos canais. Isso pode ser observado diretamente através da imagem gerada através da krigagem onde as amostras se distribuem dentro do estuário nas zonas rasas, em bancos de areia e enseadas rasas. O de Pejrup mostra uma hidrodinâmica moderada a alta com 50 a 100% de contribuição de areia nas amostras, com processo de deposição por arraste, saltação e leve suspensão, o fator 1 mostra associação com sedimentos muito finos.

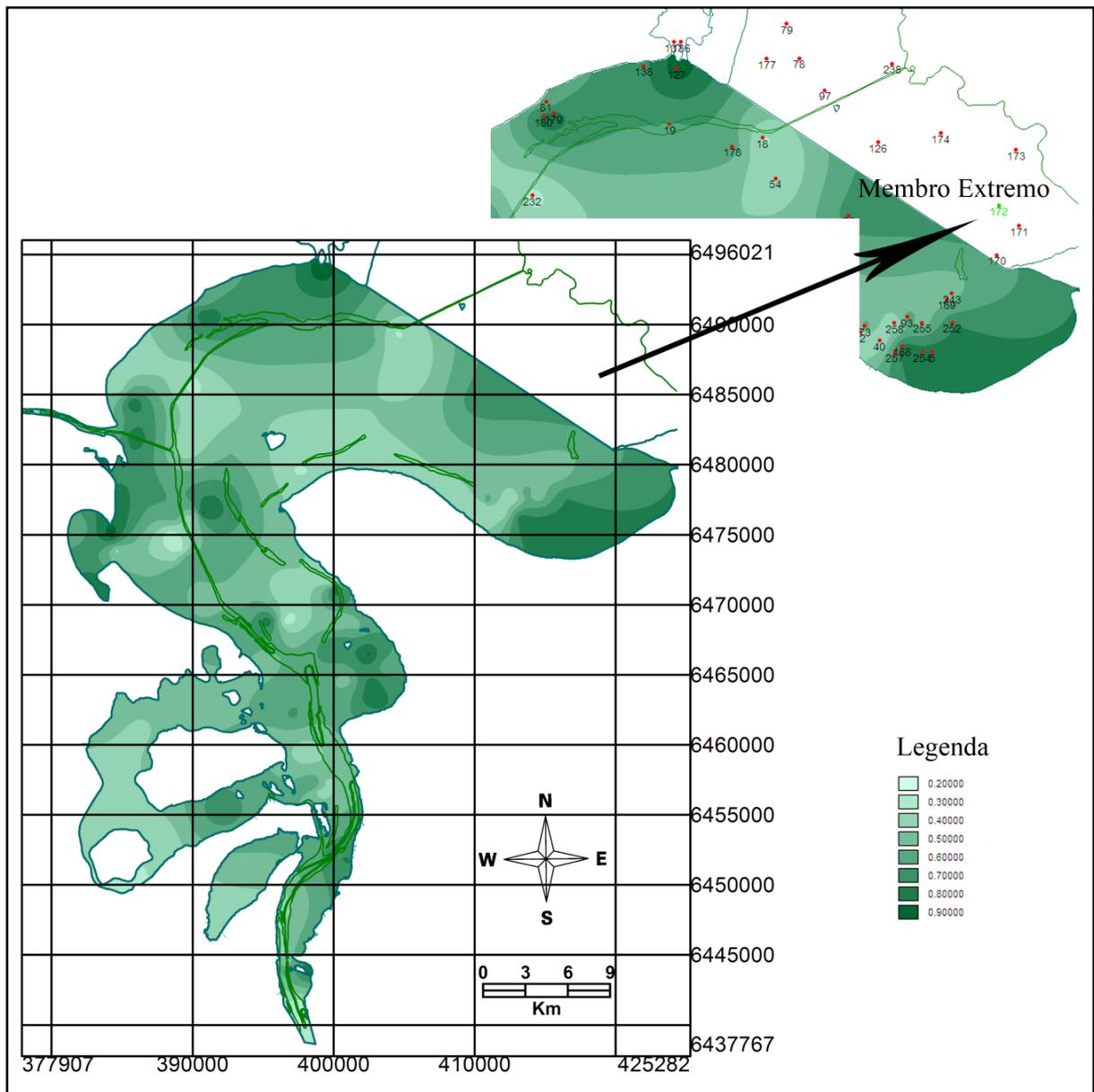


Figura 4.7 – Krigagem das amostras representativas do Fator 1

4.4.3 FATOR 2

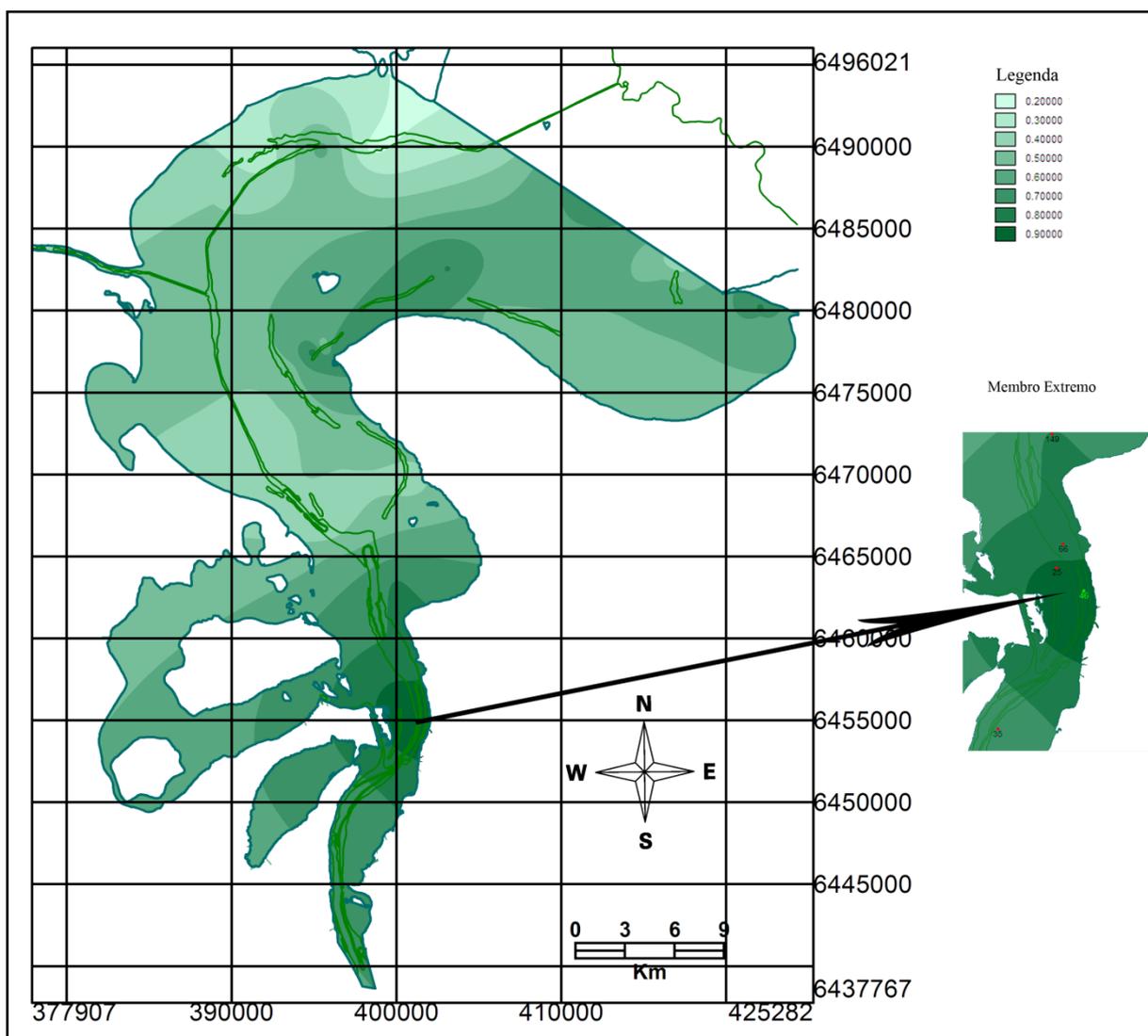


Figura 4.8 – Krigagem das amostras representativas do Fator 2

Observa-se através da Krigagem que o fator 2 (Fig. 4.8) se distribui em todo o estuário é crescente em direção da margem leste do estuário podendo-se visualizar maiores concentrações junto à Várzea (amostra 92) e em direção ao Canal do Norte. O membro extremo se encontra a uma profundidade de -14m (Zona de Canal), e localiza-se junto a São José do Norte, no Canal Natural. Identifica-se que o fator 2 se mantém com as mesmas proporções em todos os ambientes estuarinos. O fator 2 apresenta grande concentração de areia fina e média com 60 a 100% de areia fina depositados em condições de hidrodinâmica moderada a alta. Apresenta processo de deposição grande por saltação e pequeno arraste e suspensão. Através do histograma verifica-se que a moda está em $\phi=3,0$ e a distribuição dos grãos entre 2,5 e 3,0 mostrando a predominância de grãos finos. A distribuição de sedimentos mostra-se crescente da margem oeste para a margem leste onde verifica-se as maiores concentrações acima da

Várzea e na margem leste junto a cidade de São José do Norte. A hidrodinâmica, pelo diagrama de Pejrup mostra ser moderada a alta entre 60 a 100% dos grãos finos. As amostras mais representativas sofrem o processo de Winnowing quando acontece a retirada da areia muito fina sendo depositada a areia fina. Estas amostras estão localizadas próximas a áreas rasas e bancos, onde a areia fina não é depositada por ação de ondas e sofrem hidrodinâmica mais intensa. O membro extremo aparece na região onde existe uma plataforma de areia nas margens do canal natural em SJN.

4.4.4 FATOR 3

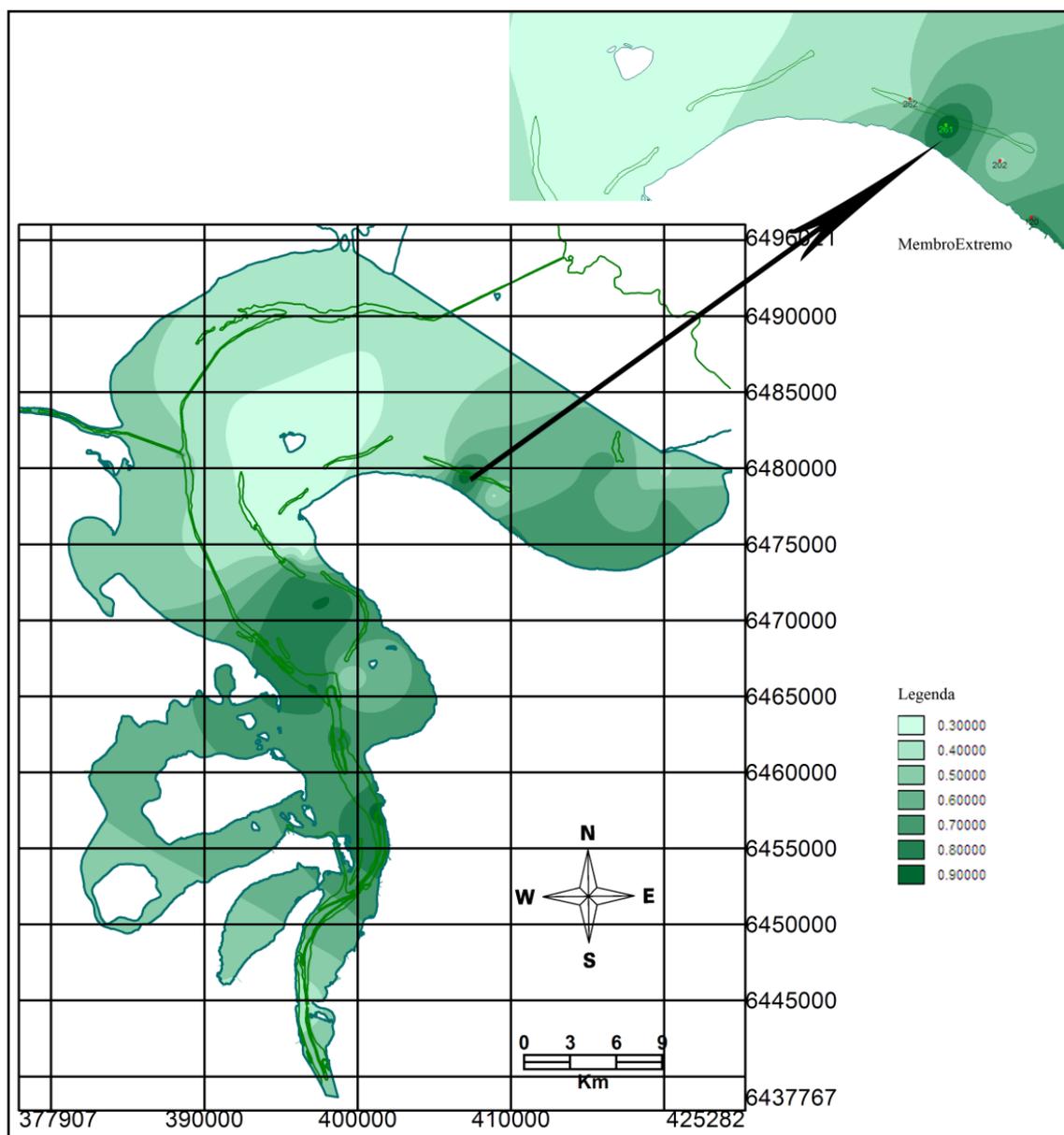


Figura 4.9 – Krigagem das amostras representativas do Fator 3

Com as amostras similares selecionadas por este fator ocorre processo de deposição por saltação e por suspensão com a moda em $\phi=12$ mas predominância também dos grãos

com $\phi = 8,9,10$ e variando entre 2,5 e 12. Os grãos podem ser então classificados entre areia muito fina, e argilosos, com quantidades significativas de silte.

A Krigagem mostra que a concentração do fator 3 (Fig. 4.9) é em zonas de enseadas rasas e canal (caracterizando ambientes calmos e deposição através de energia gravitacional) e na direção do estuário médio onde o estuário sofre um afunilamento entre as cidades de São José do Norte e Rio Grande, até a direção do Porto de RG, diminuindo a partir do Porto Novo de RG, região esta que sofre processo hidrodinâmico bidirecional. Observa-se o crescimento progressivo das margens em direção aos canais dragados e naturais. O membro extremo se encontra a uma profundidade de -6m, e localiza-se acima da Várzea, dentro do Saco do Rincão, na margem leste do estuário, região de menor hidrodinâmica do estuário. O fator 3 apresenta sedimentos do tipo argila siltica entre 10 a 50% de areia fina depositados em condições de hidrodinâmica moderada a baixa. A região de concentração das amostras do fator 3 é área de assoreamento sofrido pelo deposição de sedimentos muito finos sofrendo o processo de floculação.

4.4.5 FATOR 4

As amostras do fator 4 sofrem processo de deposição por arraste e saltação, identificando-se tamanhos de grãos entre $\phi = -2$ e $\phi=12$ a moda se encontra em $\phi=2,5$ caracterizada pela areia média, existindo alta concentração entre $\phi 2,5$ e $\phi 3,5$. O gradiente é crescente em direção a margem Oeste principalmente na região de Pelotas, Ilhas da Torotama e Marinheiros. Estas margens sofrem processo de erosão mantendo naturalmente a profundidade. São margens com intensa atividade hidrodinâmica. Na margem leste, na Coroa de Dona Mariana, acima da ponta dos Pescadores e em São José do Norte a borda do talude do canal natural apresenta areia média. O membro extremo se encontra a uma profundidade de -1.2m e localiza-se junto a Ilha da Feitoria acima do limite norte do estuário evidenciando a contribuição dos sedimentos mais grossos cuja herança geológica provém de antigas formações existentes na Planície costeira do RS mais próximas do escudo cristalino. Percebe-se sedimentos grosseiros associados a margem oeste a partir da Feitoria até o balneário Laranjal em Pelotas.

A margem leste não apresenta aporte de sedimentos grosseiros. Apesar das amostras apresentarem-se como areia média, seus valores estão muito próximos de areia fina. A hidrodinâmica intensa com ondas de curto período pela ação dos ventos NE na região onde se encontram, principalmente das correntes, seria responsável pela ausência de finos, pois estes teriam sido retirados por ação de “lavagem” (winnowing), características observadas no

lado leste da Ilha dos Marinheiros e da Torotama, áreas de constante erosão e na Região de Pelotas a areia média pode ser devida herança geológica, dos terrenos quaternários marginais que formam o arcabouço da Laguna dos Patos (Calliari,1980), como observado também na região do Rio São Lourenço e Camaquã. É provável que a areia média não venha da Lagoa, e esteja aqui dentro mesmo fazendo a lavagem pela hidrodinâmica. As concentrações de sedimentos entre 50 a 100% de areia fina depositados em condições de hidrodinâmica moderada a alta. Na Krigagem (Fig. 4.10) visualiza-se que o fator 4 se distribui em todo o estuário em menores proporções na margem leste crescendo em direção a margem oeste onde encontram-se os maiores valores.

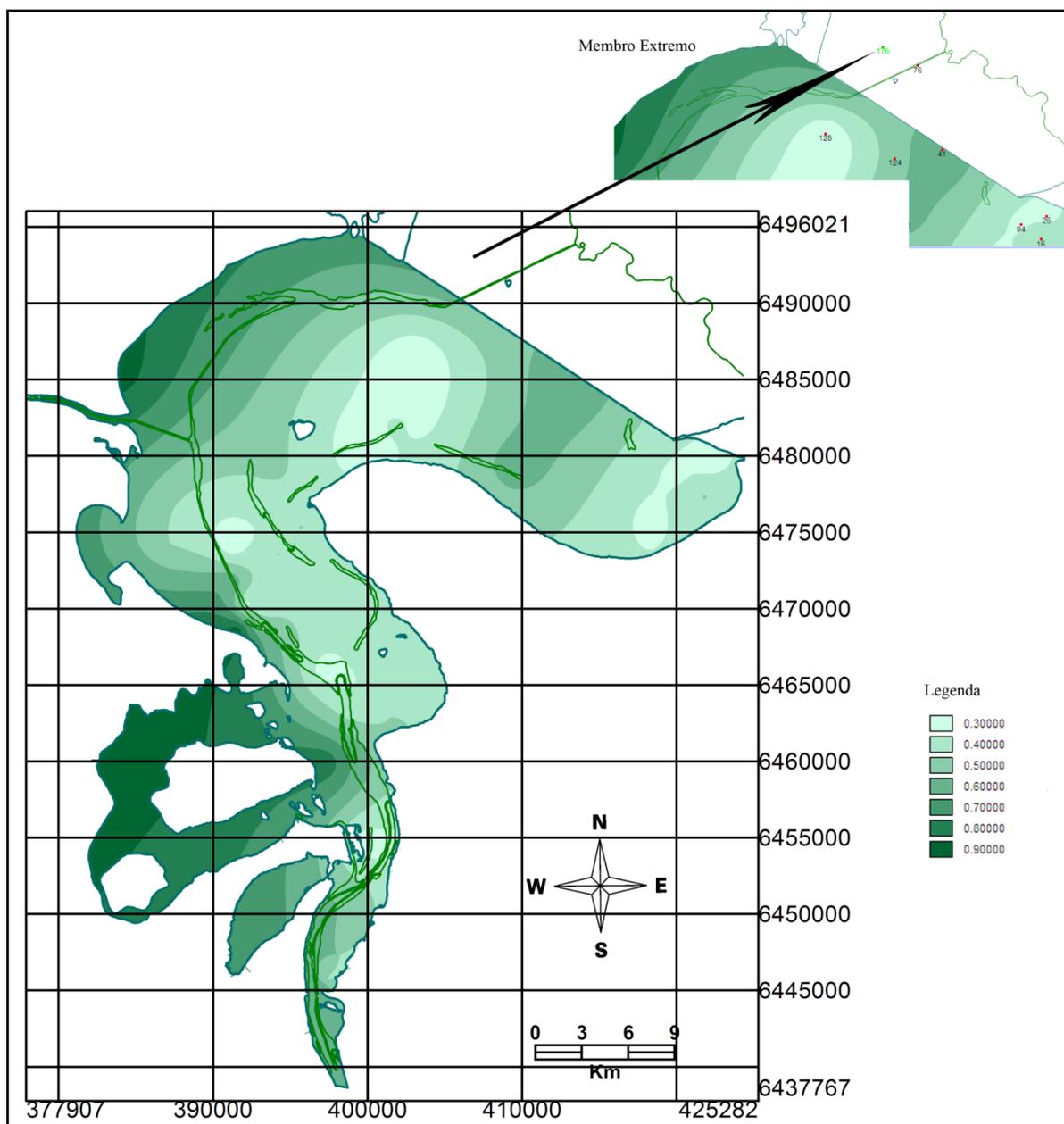


Figura 4.10 – Krigagem das amostras representativas do Fator 4.

4.4.6 FATOR 5

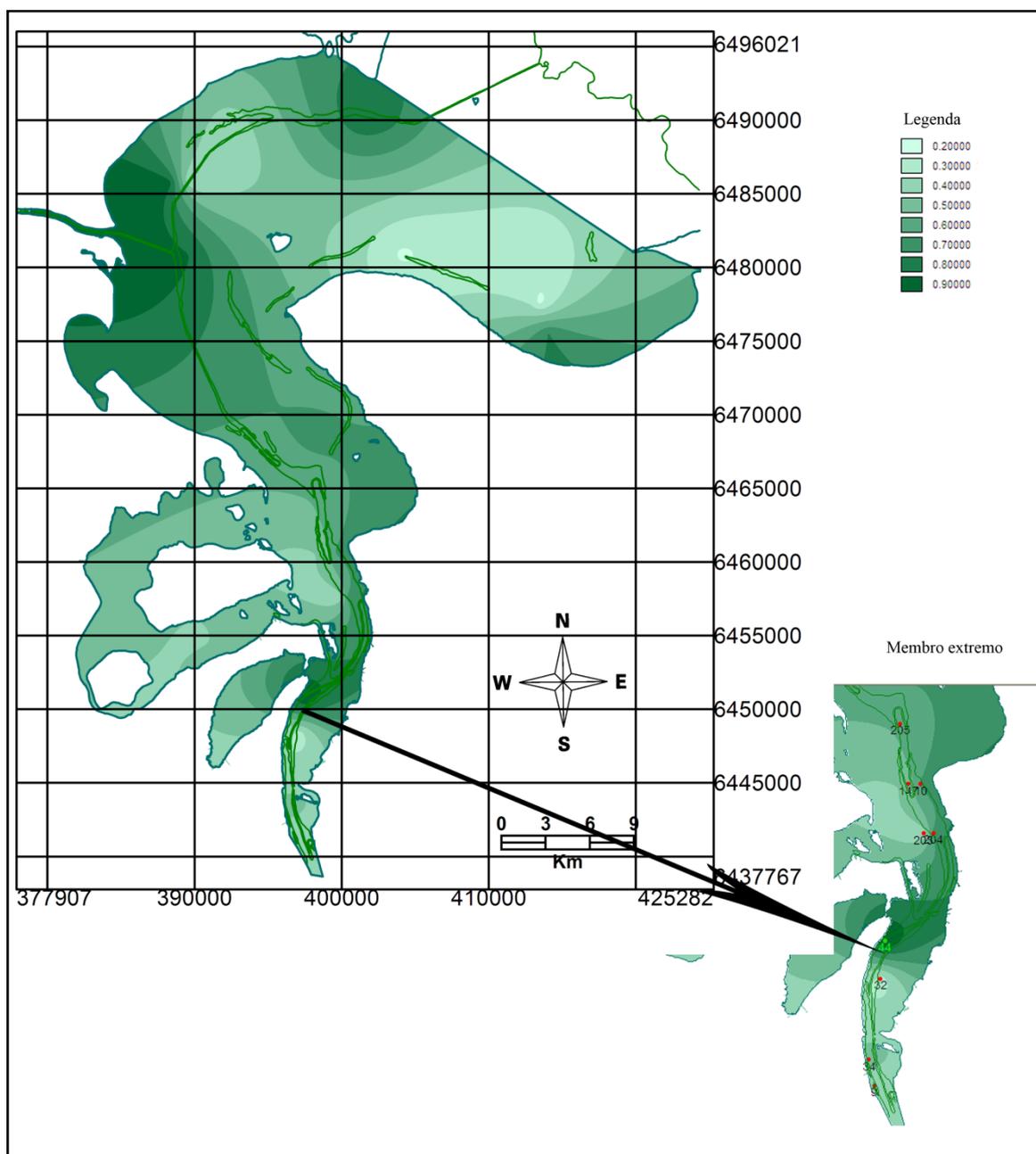


Figura 4.11 – Krigagem das amostras representativas do Fator 5.

As amostras de sedimentos representativas do fator 5 se distribuem normalmente apresentando duas modas uma em $\phi = 5$ e outra em $\phi = 11$. No intervalo de $\phi = 2,5$ a $\phi = 12$, apresentam-se tamanhos de grãos muito finos com predominância de silte e argila. O membro extremo se encontra a uma profundidade de -4.5m , e localiza-se no Canal do Norte junto a zona industrial do Porto de RG. As concentrações das amostras de sedimentos contendo entre 10 a 50% de areia fina são depositados em condições de hidrodinâmica moderada a alta. Mostra-se um gradiente crescente das margens para os canais profundos onde é predominante. Na figura 4.11 verifica-se que o fator 5 se distribui no estuário nas zonas de canais e na

margem oeste junto ao CSG fonte de sedimentos finos provenientes da Lagoa Mirim e acima junto a Ponta da Feitoria contribuição da Laguna dos Patos no extremo oeste junto a Ilha da Feitoria, na enseada rasa do saco do Rincão e no estuário médio junto ao canal natural de SJN e no Canal do Porto de RG. Apresenta-se com hidrodinâmica moderada a alta com grãos finos entre 10 a 50%. O processo de deposição se dá por suspensão e pouca saltação em ambiente sedimentar calmo. Os grãos finos de silte são provenientes da Laguna dos Patos e depositam na parte média a baixa do estuário.

4.4.7 Contribuição da Batimetria (tipo de sedimento por faixa de profundidade)

As amostras foram organizadas em matrizes em função da profundidade das zonas de transição dentro do estuário variando de 0 a -1m para Interna Rasa, de -1 a -3m para zonas Interna Média, de -3 a -5m zonas Interna Profunda, de -5 a -13m zonas de Canal e maiores que -13m Canal Profundo. Através destas matrizes foi realizado o cálculo do percentual de contribuição de cada carga fatorial em cada zona, através da média das cargas fatoriais de cada fator, gerando assim o gráfico de Barras sobrepostas, identificando-se o fator predominante em cada zona (Fig. 4.12).

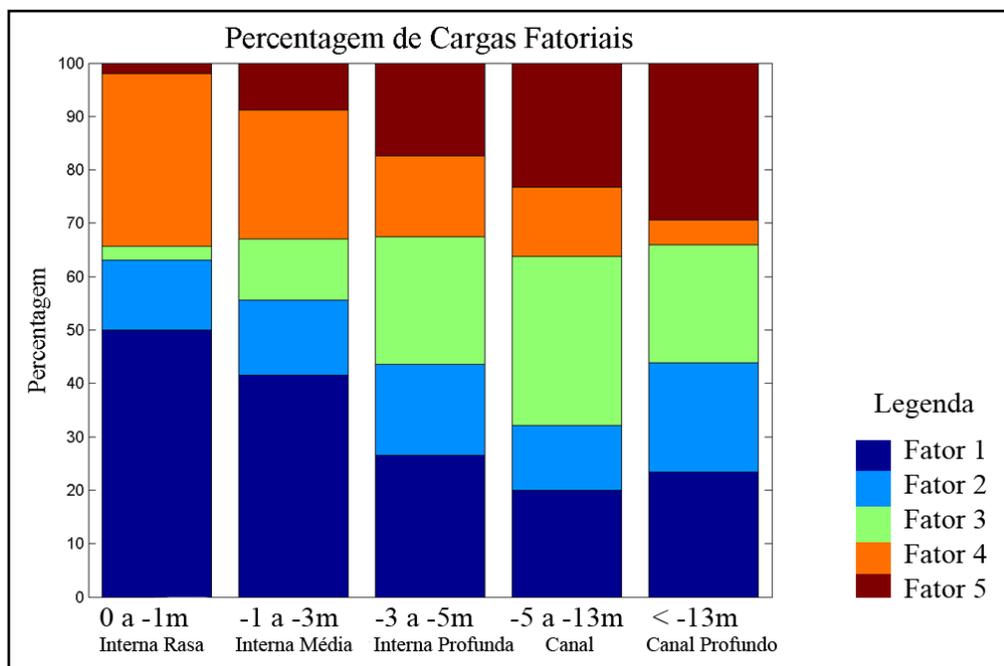


Figura 4.12 – Fator predominante em cada zona.

	%Fator 1	%Fator 2	%Fator 3	%Fator 4	%Fator 5
Interna Rasa	50.01	13.11	2.54	32.40	1.94
Interna Média	41.47	14.07	11.58	24.03	8.85
Interna Profunda	26.51	17.02	23.95	15.19	17.33
Canal	19.99	12.12	31.65	12.94	23.29
Canal Profundo	23.34	20.51	22.17	4.63	29.35

Tabela 4.4. Percentagem de Cargas Fatoriais em cada Zona de Transição

Identifica-se através da figura 4.12 e tabela 4.4 os tipos de sedimentos presentes por faixa de profundidade. O gráfico da figura 4.11 e a tabela 4.4 mostra que nas zonas Interna Rasa onde a profundidade varia de 0 a -1m o fator 1 apresenta-se com 50.01%, o fator 2 com 13.11% o fator 3 com 2.54% o fator 4 com 32.40% e o fator 5 com 1.94%.

Observa-se o gradiente crescente do fator 3 em direção aos canais identificando-se a presença em maior concentração de grãos muito finos como argila siltica e silte argiloso nestas regiões.

Pode-se dizer então que para recompor uma área na região Interna Rasa necessita-se uma quantidade muito grande, em torno de 95% de areia fina, muito fina e média (componentes abundantes do fator 1). Pode-se dizer também que os produtos de dragagem do Canal do Norte são compostos basicamente de argila siltica e silte argiloso (31.65 e 23.29)% , isto é, grãos extremamente finos.

Através da vetorização das cartas náuticas em escala 1:25.000, inserindo também as informações de profundidade de cada ponto amostrado e uma imagem Landsat ETM com as bandas 723 foi possível representar em 3 dimensões a geomorfologia do fundo do estuário, onde visualiza-se as áreas mais claras com menor e maior profundidade as áreas mais claras e mais escuras respectivamente (Fig. 4.13).

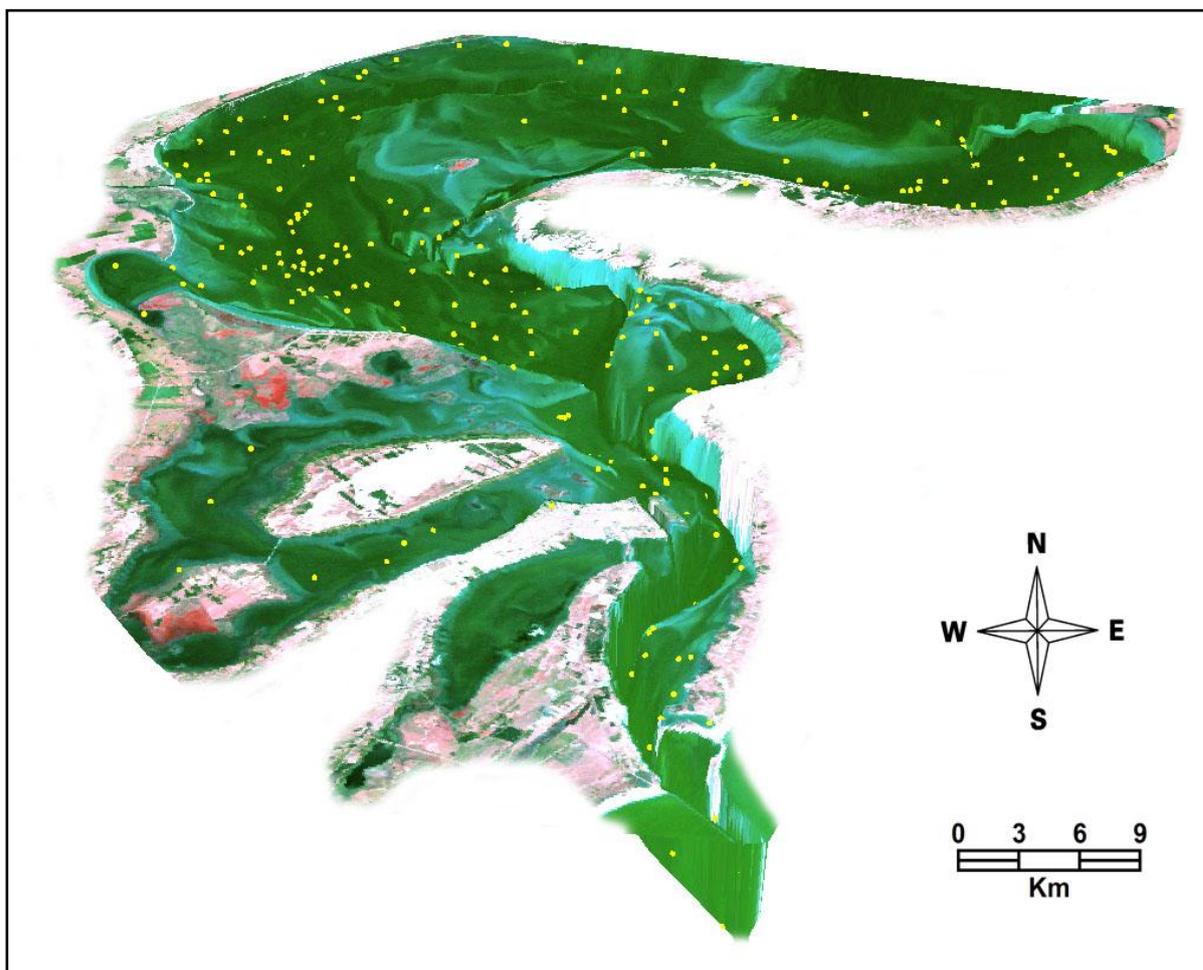


Figura 4.13 - Representação em 3 dimensões do fundo do estuário através de uma Imagem ETM/Landsat 7 de 24_02_2000, B723, 221/82.

Na imagem ETM/Landsat 7 pode-se identificar a geomorfologia do fundo do estuário, onde visualizam as áreas mais claras e mais escuras com menor e maior profundidade respectivamente. É possível verificar que a região média do estuário entre o Canal de São Gonçalo e a Ilha dos Marinheiros apresenta o aspecto de uma bacia quando comparada com os setores norte e sul do estuário. É justamente nesse local mais amplo, que o fator III com predominância de sedimentos finos (argilo-sílticos) predomina. Esse fator também mostra-se predominante em ambientes como enseadas rasas e canais, caracterizando ambientes calmos e deposição através de energia gravitacional e na direção do estuário médio no Canal do Norte.

Existe uma zonação do fator 1 composto de areia muito fina em direção à região inferior do estuário e o fator 3 mostra que a deposição dos sedimentos muito finos como argila são depositados no estuário médio, onde existe pouca hidrodinâmica e os processos de

floculação se mostram presentes em função da salinidade vinda da desembocadura ou região inferior do estuário.

As características sedimentológicas identificadas através da Análise Fatorial Mod- q e complementada pelas estatísticas paramétricas mostram 5 fatores cujas condições foram determinadas através da análise de cada fator, identificando em que região do estuário se encontram em maior concentração e quais determinantes como circulação, hidrodinâmica, profundidade e tipos de sedimentos condicionam a sua deposição.

Verificou-se onde predominam as correntes de marés sob ação de um regime hidrodinâmico de maior energia, como demonstrado no diagrama de Pejrup e onde a morfologia de fundo é altamente recortada caracterizando um ambiente dominado por correntes de marés cuja forçante é o vento. O membro extremo encontra-se na zona intermediária profunda, localizando-se em uma região onde evidencia a contribuição de sedimentos da Laguna dos Patos e a formação dos esporões arenosos. Nestas regiões encontram em percentual elevado os sedimentos tipo areia fina, onde predomina uma morfologia formada por enseadas, bancos e margens, com batimetria variando entre 0 e -2m.

Nas áreas caracterizadas por morfologia suave e com presença de canais naturais observa-se concentração de areia fina e média localizando-se no lado leste do estuário, com hidrodinâmica moderada a alta.

Outra área se forma de leste para oeste com alta concentração de areia média nas margens oeste do estuário principalmente na região acima do CSG (Pelotas) e uma contribuição forte da Laguna dos Patos na enseada do saco do Rincão, Ilha da Torotama e Ilha dos Marinheiros onde a retirada da areia fina é realizada pelos ventos NE por processo de lavagem, mantendo um processo de erosão constante.

Uma quinta área identificada com formação siltico-argilosa se concentra ao norte nas proximidades da Ilha da feitoria, uma forte contribuição de sedimentos do CSG e mais ao sul do estuário junto ao Porto Novo de RG. Apresenta-se em concentrações significativas nas margens decrescendo consideravelmente até as zonas internas profundas e aumentando dentro do canal, diminuindo em direção ao canal profundo.

A aplicação da Análise Fatorial conjuntamente com a ferramenta de geoprocessamento (a análise geoestatística), tornaram o trabalho de análise dos resultados da análise fatorial rápido através da construção de mapas dos fatores identificando-se

precisamente as áreas de contribuição das cargas fatorias e a direção do crescimento e/ou decréscimo das mesmas. Os objetivos do trabalho foram alcançados, com as ferramentas estatísticas mostrando-se altamente confiáveis na interpretação e análise dos dados, gerando resultados em consenso com os até agora encontrados e concentrando em menos quantidade de tipos de fundo conforme a definição dos fatores encontrados.

Ao compararmos estes resultados com os obtidos anteriormente por Calliari (1980) que mostrava sub-ambientes com proporções variáveis de areia, silte e argila, verifica-se que os resultados atuais são mais precisos, pois mostram mais precisamente, através dos mapas de Krigagem, a localização real (coordenadas geográficas) e mostram para cada zona de transição identificada, as proporções mais exatas de cada tipo de sedimento que a compõem.

Os resultados podem ser aplicados na gestão do ambiente estuarino e da região portuária da área de estudo.

4.5 CONCLUSÕES

Identificou-se na região do estuário da Laguna dos Patos a presença de 5 fatores com composição diferenciada em função da predominância de diferentes níveis de energia, condicionadas pela morfologia, batimetria e herança geológica. O fator 1 que explica a maior variabilidade dos dados é o fator mais abundante e contém maior concentração de areia muito fina e mostra-se mais presente em zonas de menores profundidades e enseadas rasas e protegidas. O fator 2 cuja composição é predominantemente areia fina tem dentro do estuário uma distribuição quase homogênea, com um pequeno gradiente crescente para a margem leste do estuário. O fator 3 apresenta um gradiente crescente na direção dos canais e para a região inferior do estuário identificando a presença de argila e argila-siltica nos canais e canais profundos de menor hidrodinâmica porque nessa zona intermediária do estuário a presença dos fluxos bidirecionais é menos acentuada que no sul ao mesmo tempo que se restringe de pistas de vento maiores como as existentes no setor norte do estuário. O fator 4 onde predomina a presença de areia fina mas com um input de areia grossa, muito grossa e grânulos apresenta um gradiente crescente em direção a margem oeste sendo identificado em maiores concentrações na região de Pelotas área de influência de antigas formações geológicas (Fischer e Calliari, 2001), com afloramento de sedimentos do Pleistoceno (Long e Paim, 1987). O fator 5 apresenta a predominância de grãos silte argilosos presentes na margem oeste do estuário junto ao CSG comunicação da Laguna dos Patos com a Lagoa Mirim, o qual deposita no estuário sedimentos extremamente finos. Encontra-se presente também no Canal do Norte, junto ao

Porto de RG, identificando a contribuição dos sedimentos que descem em suspensão da Laguna dos Patos, a qual não deposita este tipo de sedimento, vindo ser depositado no Canal do Norte.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALLIARI, L. J. 1980. Aspectos Sedimentológicos e Ambientais na Região Estuarial da Laguna dos Patos. Porto Alegre. RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Geociências, p.

CALLIARI, L. J. 1994. Cross-shore and Longshore Sediment Size Distribution on Southern Currituck Spit, North Carolina: Implications for Beach Differentiation. *Journal of Coastal Research*, Fort Lauderdale, Florida. pp 360-373

CALLIARI, L.J., GOMES, M.E.V., GRIEP, G.H., MÖLLER Jr., O.O. 1980. Características Sedimentológicas e Fatores Ambientais da Região Estuarial da Laguna dos Patos. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Balneário Camboriú. Santa Catarina, pp 862-875.

CALLIARI, L.J. 1990. Cross-Shore and Longshore sediment size distribution on S. Currituck spit, North Carolina – Tese de Doutorado School of Marine science oh College of William and Mary in Virginia. 193 p.

CASTAING, P. , GENSOUS, B., KINGEBIEL, A., 1972. Caracterisation par l'analyse factorielle de faciès granulométriques sur le plateau continental au large de la Gironde. *Bull. Inst.Geol.Bassin Aquitaine*. 12:151-157.

DAL CIN, R. 1976. The use of factor analysis in determining beach erosion and accretion form grain-size data. *Marine Geology*. 20:95 – 116.

DAVIS, J.C. 1973. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley e Sons. New York. 550 p.

HAIR, J. F. 1995. *Multivariate Data Analysis:with readings*. 4.ed. New Jersey: Prentice Hall.

HERZ, R.. 1977 *Circulação das águas de superfície da Laguna dos Patos*. São Paulo – Tese de Doutorado em Geociência. Instituto de Geociências, USP. 234 p.

KLOVAN, J. C. 1966. The use of factor analysis in determining depositional environments from Grain-Size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*. Vol. 36, No.1, pp 115-125.

LANDIM, P.M.B., 2000. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Departamento de Geologia Aplicada – IGCE, Laboratório de Geomatématica. UNESP. Rio Claro, São Paulo.

MARTINS, I. L. R. M. 1971. Sedimentologia do Canal do Rio Grande. Dissertação de Mestrado em Geociências. UFRGS. Porto Alegre. 38 p.

MOUSTAFA, M. S. J., 1988. Swash induced zonation of a foreshore sediment size distribution. Thesis Faculty of School of Marine Science, College William and Mary in Virginia. 138 p.

NETO, M. A. S. 2008. Mineração Visual de Dados: Extração do Conhecimento a partir das Técnicas de Visualização da Informação e Mineração de Dados. Experimentos: ITAIPU e SIMEPAR. Dissertação de Mestrado, UFP(Paraná), PPGMNE(Métodos Numéricos em Engenharia- Concentração-Programação Matemática). 160p.

RUMMEL, R. J. 1970. Understanding factor analysis. Conflict Resolution. Vol. XI. No. 4.

YAMAMOTO, J. K. 2001. Avaliação e Classificação de Reserva Minerais. São Paulo. SP. Ed. EDUSP. FAPESP. 226 p.

CAPÍTULO 5

PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS DO ESTUÁRIO DA LAGUNA DOS PATOS IMPLEMENTADOS ATRAVÉS DE GEOPROCESSAMENTO.

Artigo submetido A REVISTA Gravel em Abril 2009

5.1 RESUMO

Informações oceanográficas temporais do estuário da Laguna dos Patos das décadas de 80 e 90 foram processadas e comparadas com os resultados gerados através de técnicas de geoprocessamento. Os dados utilizados são de qualidade da água, obtidos *in situ* como temperatura, salinidade, transparência, além de análises de laboratório como do material em suspensão, bem como de análises químicas de qualidade da água. As novas técnicas de análise geoestatística disponíveis em SIG, representam uma visão mais qualificada dos resultados em função da rapidez e integração com outras informações. Foram escolhidos os dados sazonais das estações de Outono e Inverno das duas primeiras Fases dos Cruzeiros MS I, II e III em 1979, 1980, 1982 e 1983. As informações disponíveis foram recuperadas e um banco de dados foi criado através do *software* SIG, *ArcView 9.3*, sendo também posteriormente utilizadas as ferramentas de análise em SIG. Apesar dos resultados das análises geoestatísticas de *Krigagem* serem compatíveis com os obtidos pelos métodos tradicionais, percebe-se que esta técnica permitiu a padronização de metodologia com melhor organização, integração, tornando os dados mais refinados e consistentes para disponibilização na Internet. O *ArcView 9.3* possui recursos para a implementação dos dados, gerando resultados detalhados, como relatórios da análise e recursos como por exemplo os variogramas, onde se pode definir com qualidade os parâmetros de implementação da interpolação.

Palavras-Chave: parâmetros oceanográficos, estuário Laguna dos Patos, geoprocessamento.

5.2 ABSTRACT

Temporal oceanographic information from the Patos Lagoon Estuary, obtained in the 80's and 90's, were processed and compared to results generated through modern geoprocessing technologies. Water quality data obtained *in situ*, such as temperature, salinity and transparency, and through laboratorial analyses, such as suspended material and chemical analyses, were utilized. New geostatistical analysis techniques available in geoprocessing programs (GIS), unavailable at the time of data collection, represent a more qualified vision of results, due to processing speed and integration with other information. Seasonal data from autumn and winter were chosen from the first two phases of oceanographic cruises, in 1979, 1980, 1982 and 1983. A database was constructed with the information and analyzed with GIS software *ArcView 9.3*. Despite the fact that the Krigage geostatistical analyses results were compatible with results obtained by traditional methods, it can be noted that this technique permits standardization of methodology, with better organization and integration, being more refined and consistent, and available to the community through the internet. *ArcView 9.3* possesses resources for data implementation, generating detailed results, such as analysis reports and resources such as variograms, where the quality of parameters of interpolation implementation can be defined.

Keywords: oceanographic parameters, Patos Lagoon estuary, geoprocessing.

5.3 INTRODUÇÃO

A mistura entre as águas doce continentais e salgada na desembocadura da Laguna dos Patos origina um ecossistema tipicamente estuarino, que apresenta uma área de aproximadamente 900 km², ou seja, 1/10 da área total da Laguna dos Patos (Calliari, 1980). Nesta região ocorrem as principais modificações na qualidade da água, devido à ação mais direta dos principais corpos de água que aí interagem e onde os processos hidráulicos e sedimentares resultantes da interação entre as águas coexistem de forma complexa e dinâmica (Hartmann et. al., 1990; Hartmann e Schettini, 1991).

Desde a década de 70 do séc. XX, a Universidade Federal do Rio Grande (FURG) vem desenvolvendo pesquisas oceanográficas no ambiente costeiro com destaque para a região estuarina. Os estudos sobre o Projeto Material em Suspensão (MS) entre 1979 e 1980 foram os primeiros de uma série, realizados no estuário da Laguna dos Patos, visando estudos da massa de água, dinâmica, quantidade e qualidade do Material em Suspensão, além de proporcionar dados sobre os aspectos da sua composição química. Os resultados foram em parte colocados à disposição do público na forma de publicações em revistas, apresentações em congressos e simpósios, teses, dentre outros.

Atualmente, é possível constatar que tanto a coleta como a análise de dados estão cada vez mais sofisticados, devido a existência de equipamentos mais precisos, da maior diversidade do conhecimento humano (Silva, 2003), além, é claro, do surgimento de técnicas computacionais que permitem a integração e análise destes dados.

O advento do geoprocessamento, que representa as ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas, levou ao desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos. Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) utiliza os recursos de gerenciamento de dados, não convencional, que garante o gerenciamento de dados geográficos. A abordagem “toolbox” considera o SIG como sendo um conjunto de ferramentas e algoritmos para manipulação de dados geográficos, tal como a produção de mapas e tem como característica principal a capacidade de integrar e transformar dados espaciais.

O enfoque orientado a processos utiliza o fato de que SIG são coleções de subsistemas integrados, onde dados espaciais passam por uma seqüência de processos de

conversão, coleta, armazenamento e manipulação. Finalmente, diferentes definições priorizam a aplicação, caracterizando o sistema segundo o tipo de dado manuseado, ou a utilização, tais como sistemas espaciais para apoio à tomada de decisão ou sistemas para análise de dados geográficos.

Sob certo ponto de vista, o processo de implantação de um SIG se divide em três grandes fases: modelagem do mundo real; criação do BD geográfico, e operação. A fase de operação se refere tanto à utilização do SIG, quanto ao desenvolvimento de aplicações específicas por parte dos usuários a partir dos dados armazenados, reconstruindo visões (particulares) da realidade. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo a construção de um BD das pesquisas oceanográficas realizadas na área do estuário da Laguna dos Patos, relacionadas com o projeto Material em Suspensão, utilizando a tecnologia do geoprocessamento, com as ferramentas de geoestatística, para análise das informações. O BD oceanográfico, alimentará um SIG do Estuário da Laguna dos Patos, onde novos dados podem ser inseridos à medida que forem adquiridos, e armazenados de forma organizada.

5.3.1 Localização da área

O estuário da Laguna dos Patos tem como referência ao Norte a Ilha da Feitoria, a Leste a cidade de São José do Norte, a Oeste a cidade de Rio Grande, e ao Sul a Barra do Rio Grande. Esta área está compreendida entre as coordenadas UTM (428852,6440000); (428852,6498801); (377795, 6498801) e (377795, 6440000) (Fig. 5.1).

5.4 MATERIAIS E MÉTODOS

5.4.1 Materiais

Foram utilizados os dados: dos parâmetros ambientais coletados nos cruzeiros do projeto MS, das planilhas preenchidas quando da coleta dos dados *in situ*, dos relatórios efetuados após o término dos cruzeiros, dos resultados das análises de laboratório e dos trabalhos que descreveram e analisaram as informações (Hartmann 1980, 1996). Através do *software* de BD Access foram organizadas todas as informações dos parâmetros ambientais e através do programa ArcView 9.3, processados os dados.

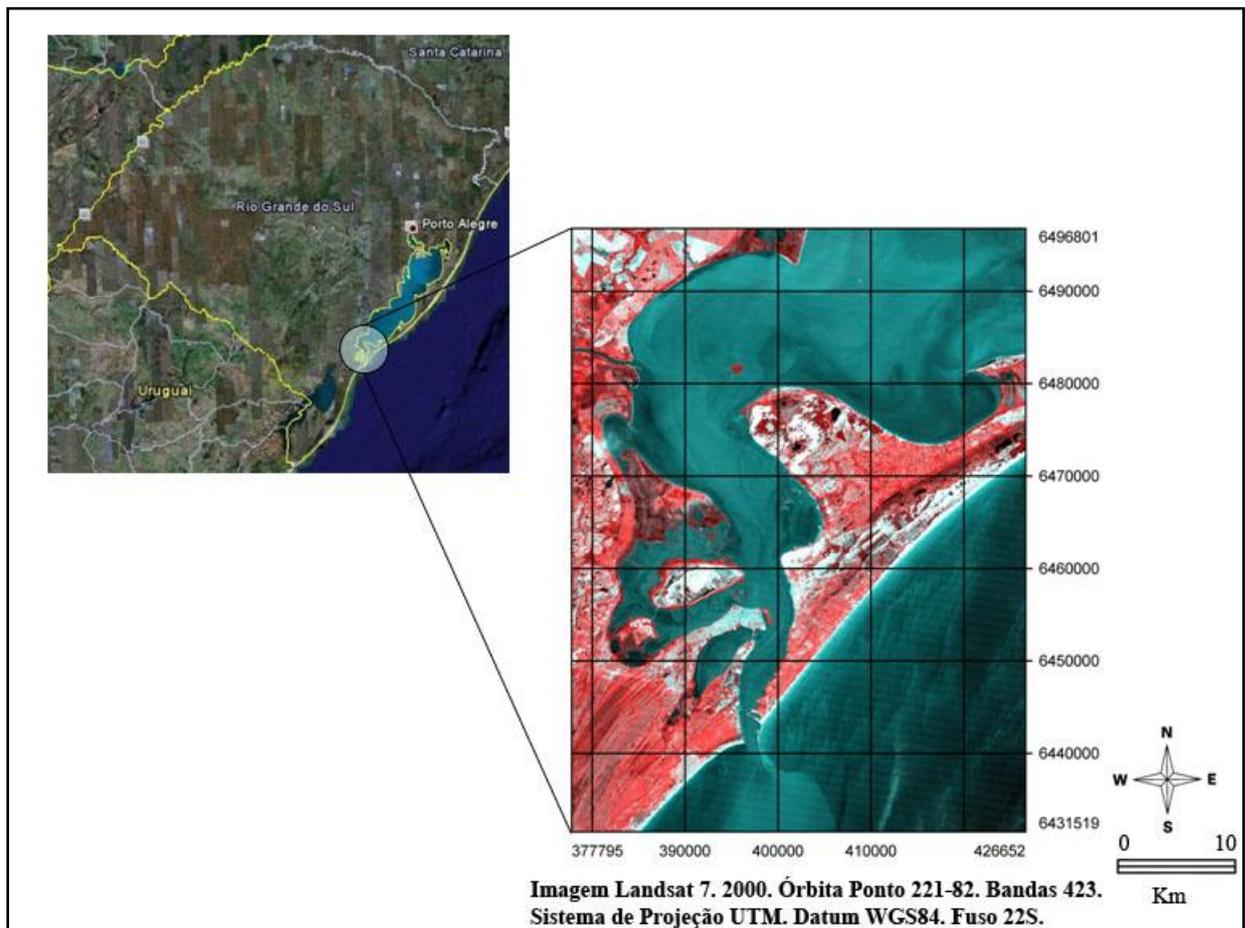


Figura 5.1 - Localização da área de estudo. FONTE: Google Earth, e grade cartográfica em UTM do detalhe da área do estuário da Laguna dos Patos através do recorte da Imagem ETM/Landsat 7 de 2000, órbita ponto 221-82, B423, Falsa cor.

5.4.2 Métodos

5.4.2.1 Base do Modelo Oceanográfico do SIG

As operações em SIG foram desenvolvidas, inicialmente, para analisar propriedades espaciais características de conjunto de dados geográficos, com pouca e quase nenhuma relevância temporal. Até poucos anos os SIG's eram apenas utilizados para informações estáticas, mas muitas áreas de pesquisa como a biológica, física, química, geográfica e oceanográfica, procuram utilizar os SIG's para análises em que existam dados dinâmicos. Em termos práticos, em dimensões temporais e dinâmicas, operações em SIG precisam ser metodicamente implementadas para que os resultados sejam consistentes.

Assim, através do SIG as informações obtidas nas décadas de 80 e 90 da área foco, podem ser analisadas e interpretadas automaticamente. No SIG os resultados arranjados na

forma de tabelas e mapas, estão disponíveis de forma rápida, interativa, quando comparados aos modelos anteriormente obtidos.

As primeiras informações organizadas no BD foram os dados dos cruzeiros, realizados na região do estuário em 1979/1980 (Fase I) e dos realizados em 1982/1983 (Fase II) (HARTMANN, 1988) e em 1984/1985 (Fase III) (PAIM e MOLLER JR., 1986). No BD também foram introduzidos dados pontuais semanais, sazonais obtidos em 1992 e 1993, na região do Canal do Norte, denominados de Fundeios sazonais (HARTMANN, 1996). Entretanto para a finalidade deste trabalho, somente dados da Fase II foram analisados. Os dados foram digitados no programa *ACCESS* obtendo-se um BD e introduzidos no SIG *ArcView 9.3*.

Dados de superfície e fundo da camada de água, organizados sazonalmente, foram analisados utilizando o método de interpolação *Krigagem (Kr)*, obtendo-se mapas de distribuição de todos os parâmetros disponíveis (MS, S, T °C, *Secchi*, etc.).

5.4.2.2 Uso do Geoprocessamento.

Em SIG é possível inserir dados espaciais, que estão relacionados à localização, à forma e ao relacionamento entre os elementos gráficos, armazenados mediante coordenadas e topologia, e os dados não espaciais ou alfanuméricos, formados por caracteres numéricos e alfabéticos, descrevendo características, ou atributos, dos dados espaciais (Teixeira e Christofolletti, 1997).

Os objetos espaciais representados em um SIG, como nós, arcos e polígonos possuem atributos (chave primária, identificação, tipo numérico, texto, etc. e descrição). Um atributo comum a todas as características é a situação geográfica (coordenadas geográficas ou planas). Os outros atributos dependem do tipo e de quais aspectos são importantes para um propósito ou aplicação em particular. Quando a feição é plotada no mapa com sua correspondente coordenada geográfica, se torna um objeto espacial.

No BD criado neste trabalho, cada nó possui coordenadas que definem uma estação de coleta de dado, onde foram coletados os parâmetros físicos e os resultados das análises de laboratório. Cada ponto tem um ID (chave primária ou identificador), uma latitude, uma longitude, e atributos, no caso: profundidade, salinidade, MS, temperatura, outros.

O BD foi conectado no SIG *ArcView 9.3*, que identifica e automaticamente liga as tabelas (atributos), que farão com que possam ser utilizadas, recuperando e relacionando as mesmas como **geoinformação**, através de análises simples, espaciais e estatísticas, gerando novas informações. Estas análises são implementadas através de **Consultas** (*Queries*), **União** (*Joins*), **Interseção** (*Intersection*) e por **Análises Espaciais** como **Interseção** (*Intersecção*), **Agrupamento** (*Aggregation*) e através do *ArcCatalog* pode-se gerar automaticamente os **metadados**.

Inicialmente os dados foram organizados em tabelas na forma: *Cruzeiros, Estação, TipoMedidas, Medidas, Amostragem*. Na modelagem adotada para formatação do BD foram observados os níveis de abstração dos dados geográficos, os requisitos do modelo de dados geográficos e finalmente a clareza da representação dos dados que se pretende modelar. A Carta Náutica B2112 na escala 1:80.000 foi georreferenciada e as estações de coleta localizadas geograficamente (GCP – Geographic Control Points)(Fig. 5.2).

Para uma melhor representação foram identificados os atributos dos dados, tabela por tabela, sem a preocupação de editar relacionamentos entre as mesmas. Basicamente os dados no *ACCESS* foram formatados em cinco tabelas (Tab. 1).

Sobre o BD do projeto MS Fases I, II, e III foi aplicada uma rotina específica (*Analysis*), cujas operações separam, organizam e relacionam tabelas, correspondentes as informações de MS, dos **parâmetros ambientais** (Temperatura, Salinidade, *Secchi, etc*), da **sazonalidade** (primavera, verão, outono e inverno) sendo as informações separadas conforme posição de coleta das amostras como: superfície, meio e fundo da coluna de água.

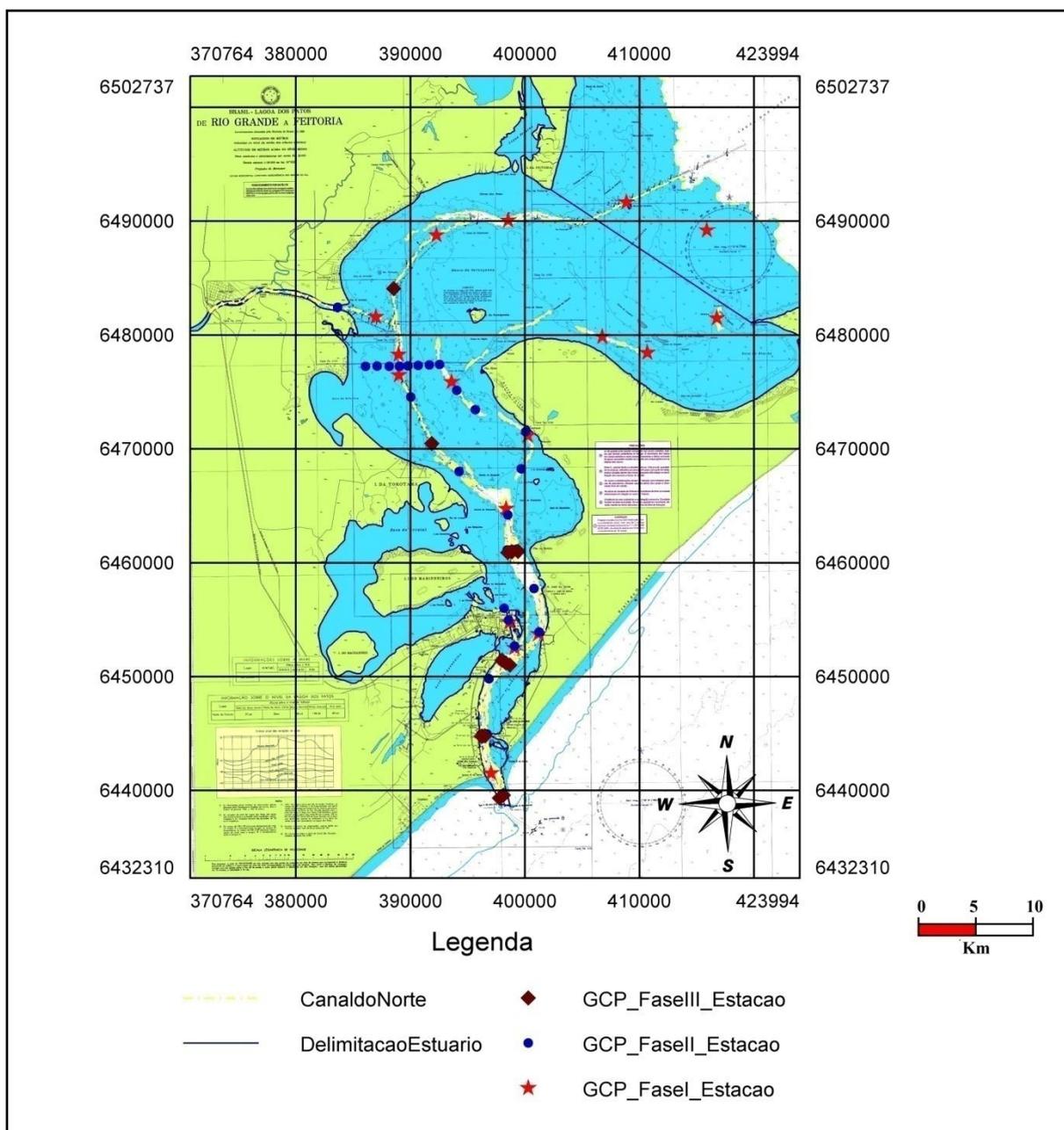


Figura 5.2 - Delimitação da área do estuário da Laguna dos Patos tendo como base a carta DHN 2112 na escala 1:80.000, Projeção Mercator, Datum WGS84 e localização das estações dos Cruzeiros MS I, II e III realizados entre 1979 e 1993.

Tabela 5.1.

Tabelas de dados formatadas no ACCESS

TABELA	NOME	CONTEÚDO
1	Cruzeiro	Nome, data partida, data chegada, fase
2	Estação	Localização (atributos), número e descrição local
3	Amostragem	Data, hora, No. cruzeiro, estação
4	Tipo medida	MS, Salinidade, Secchi, Temperatura, correntes, etc.
5	Medida	Identificação do valor medido, profundidade, amostragem

5.4.2.3 Estrutura de Dados

Num SIG, a estrutura de dados existente é a **topologia** e as **camadas** (*layers*). A estrutura por topologia refere-se à conexão das características das relações espaciais fundamentais. Ela fornece a lógica que conecta nós, arcos e polígonos. Esta descrição fornecida pela topologia deve ser precisa para possibilitar a realização de relações e análises espaciais, como a sobreposição de polígonos, isolamento de polígonos, se uma linha está dentro de um polígono e determinar a proximidade entre as mesmas características.

As camadas (*layers*) indicam apenas o modo como o SIG estrutura seus dados ou representa a separação das informações de um mapa em categorias lógicas, temas ou níveis/planos de informação (PI). As camadas geralmente contêm informações sobre um tipo de característica (por ex. profundidade) ou sobre um pequeno grupo de características relacionadas (por Ex., MS, salinidade, temperatura). Esta separação lógica em camadas permite a manipulação e análise espacial dos dados, isoladamente ou em combinação com outras camadas. Para obtenção de resultados analíticos significativos, os planos de informações devem estar referenciados geograficamente entre si, mediante um sistema de coordenadas comum.

É de extrema importância a definição do sistema de coordenadas de cada elemento na camada onde foram inseridos, pois esta relação pode ser quebrada caso o sistema não se identifique. A combinação dos planos de informação abre a possibilidade de sobreposição e combinação para a criação de cenários alternativos e/ou combinação matemática de sobreposições já existentes. As feições criadas para análise correspondem a parâmetros geográficos da área de estudo e os parâmetros ambientais.

5.4.2.4 Análise Geoestatística – *Krigagem (Kr)*

Em áreas onde é difícil a coleta de um grande número de amostras, como num estuário, e se deseja entender o comportamento dinâmico desta área, a partir dos pontos amostrados, podemos utilizar um algoritmo de simples interpolação gerando um mapa de isolinhas da concentração do parâmetro que queremos analisar. Este algoritmo tem por base os valores de cada um dos pontos e as distâncias relativas entre eles.

Para produzir superfícies contínuas a partir de dados pontuais, determinados tratamentos matemáticos são necessários para a exportação de suas características não espaciais, para além de sua área de abrangência. Na implementação de tais procedimentos é importante selecionar o método adequado de interpolação. Dentre os vários métodos de

interpolação disponíveis, o mais utilizado é o procedimento geoestatístico denominado de *Kr* introduzido por MATHERON (1962) apud SILVA (2003). Esta técnica possui uma excelente flexibilidade para interpolação, podendo interpolar grandes áreas, com melhor precisão, mantendo os valores originais e uma boa visualização dos dados em relação aos demais métodos.

A técnica de *Kr* gera valores interpolados que coincidem com os valores dos pontos amostrais. Permite capturar e assim representar com maior qualidade a variabilidade espacial, além de fornecer uma variância confiável aos valores interpolados, sendo possível identificar as regiões que precisam ser melhoradas (BARCELOS et al, 2004).

A técnica de *Kr* assume que os dados recolhidos de uma determinada área se encontram correlacionados no espaço até uma distância “X”. A partir desta distância “X” a correlação espacial pode deixar de existir. É uma técnica geoestatística de interpolação de dados amplamente utilizada nas áreas de meio ambiente, ecologia, zoologia, geologia, etc. A *Kr* exige um mapa na forma de pontos, ao invés de polígonos, e preferencialmente na projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), utilizando a localização como uma de suas variáveis de maior importância.

Todas as técnicas de interpolação geoestatísticas, criam superfícies incorporando propriedades estatísticas de medida de dados. Sendo a geoestatística baseada na estatística, esta técnica não produz apenas superfícies de predição, mas também, erros e superfícies com incertezas, dando uma indicação da qualidade da predição.

A técnica de interpolação geoestatística *Kr* apresenta vários métodos, os quais não apenas criam superfícies de *predição* (estimativa) e erros, mas também produzem mapas de probabilidade e *quantile* (quantidade, fração), dependendo da necessidade de aplicação dos dados. Esses métodos podem ser divididos em duas modelagens distintas:

- quantificar a estrutura de dados espacial conhecida como variografia, isto é, a utilização do variograma para ajustar o modelo de dependência espacial dos dados e,

- formular uma hipótese sobre os dados, isto é, fazer uma predição para valores desconhecidos de uma localização específica se utilizando de um modelo de ajuste do variograma, da configuração dos dados espaciais e dos valores dos pontos amostrados no entorno da localização predita.

A *Kr* foi definida como uma estimativa de um atributo em um volume de suporte através da ponderação de todas as amostras disponíveis, na qual os pesos ponderados são obtidos com a restrição de que seu somatório seja igual a 1 e a variância da estimativa seja mínima. Existem vários tipos de *Kr*, todas são técnicas de regressão que diferem apenas nos tipos peculiares de funções obtidas a partir dos dados que estão sendo combinados para a obtenção da estimativa.

As principais técnicas de *Kr* são:

a) *Krigagem da Média* cuja estimativa é dada pela fórmula:

$$m = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z x_i \quad (1)$$

b) *Krigagem simples* que assume que a média **m** é conhecida e é a mesma em qualquer ponto x do domínio, cujo estimador é dado pela equação:

$$Z^* [x_0 = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i x_0 Z x_i - m] \quad (2)$$

c) *Krigagem ordinária* uma das mais importantes, dada por:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(x_0) Z x_i \quad (3)$$

A interpolação por *Kr*, foi aplicada no SIG utilizando o *ArcView 9.3*, que disponibiliza os métodos *Ordinary Kriging*, *Simple*, *Universal*, *Probabilidade* e *Indicador*. Neste trabalho os mapas obtidos foram de todos os dados disponíveis, sendo os dados de superfície, meio e fundo organizados por estações do ano. Foram definidas duas épocas do ano (Outono e Inverno) para análise da *Kr*.

Os procedimentos foram executados com todas as informações, empregando a *Ordinary Kriging* (Eq. 3) calculando a média dos valores em cada nó (estação). Devido ao grande número de informação gerada são apresentados somente os resultados dos dados de MS e Salinidade dos Cruzeiros de Outono e Inverno da Fase II.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Toda informação ambiental disponível pode ser formatada e disponibilizada nos programas SIG. Existem numerosos SIG em operação e, certamente, mais de 10 dezenas estão sendo comercializados atualmente. Todos têm em comum a capacidade de desempenhar

eficazmente operações de superposição. São funções típicas de SIG a representação de mapas contendo informações particularizadas. Dentre as inúmeras funções que podem ser executadas nos SIG, estão as operações denominadas de multivariadas que podem ser modelos de regressão, análise fatorial, componentes principais, análise de correspondência, probabilidade, entre outras (SILVA, 2003).

Com base nas análises de laboratório (MS) e dos parâmetros ambientais que influenciam a distribuição do MS, dos dados pontuais, os quais foram representados de forma manual (HARTMANN, 1986, 1996) foram realizadas análises de Geoestatística de *Kr*. Esta técnica permite a obtenção de modelos de distribuição dos dados mediante a interpolação entre os valores pontuais, permitindo visualizar de forma integrada as variações dos diferentes parâmetros, com mais qualidade e melhorando a interpretação e do que a realizada de forma manual como mostrado na figura 5.3 (HARTMANN, 1982). Além disso o SIG disponibiliza muitas outras maneiras de gerenciamento da informação.

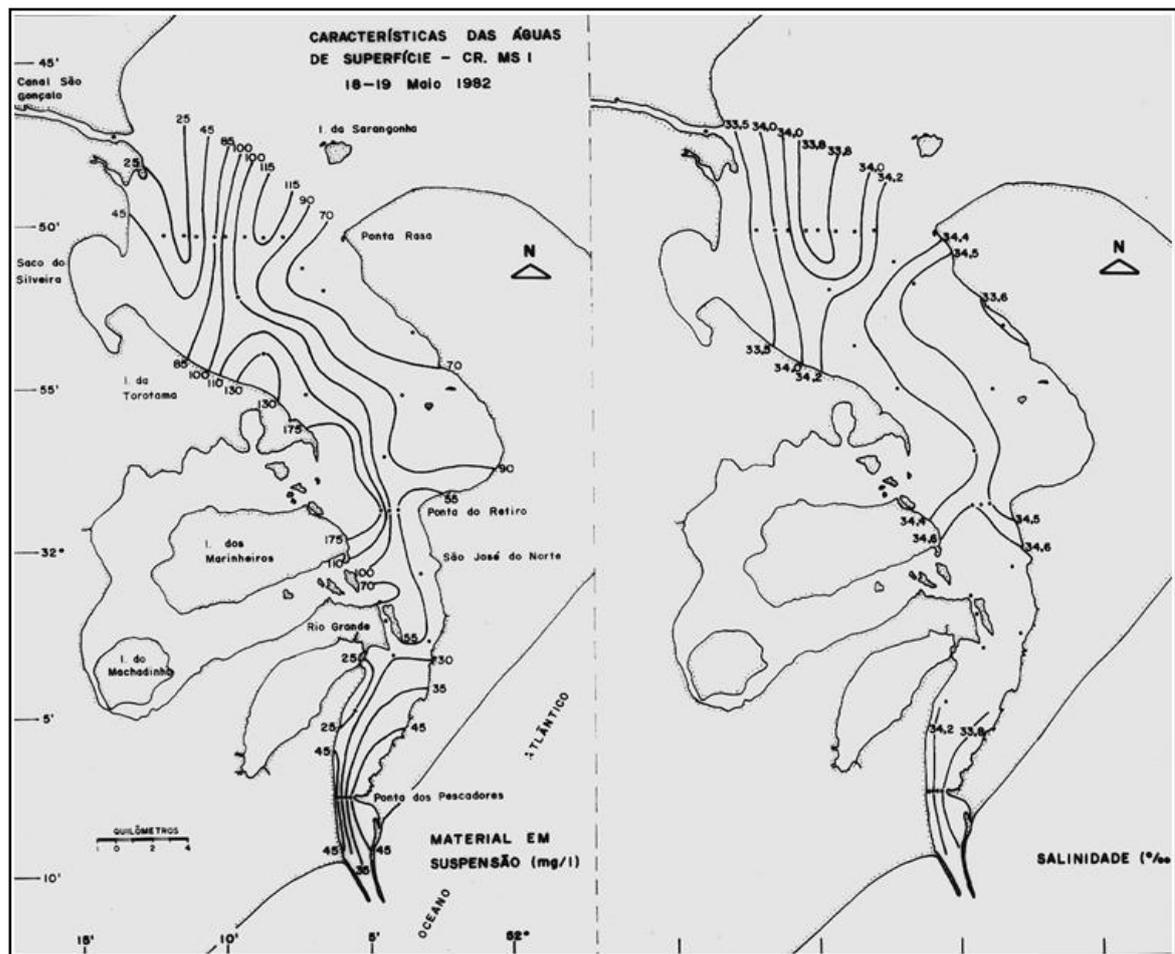


Figura 5.3 - Exemplo de Mapa com isolinhas de MS e Salinidade de superfície, CR MS I, FASE II. FONTE: Hartmann, 1982.

Aplicando o método da *Kr* para cada um dos parâmetros MS e Salinidade da Fase II nos períodos de Outono e Inverno, obtivemos mapas de distribuição, que foram comparados com o realizado de forma manual. Esta mesma análise foi aplicada para os dados de MS e de Salinidade para os períodos de Outono e Inverno. Constatou-se, que o geoprocessamento facilita consideravelmente a análise dos resultados. Além disso, dentro do SIG, temos muitas maneiras de gerenciamento das informações para uso em outro tipo de análise.

É importante observar que para utilizar esta metodologia é fundamental organizar a informação de maneira que elas representem exatamente a época da coleta de dados, porque, desta forma é possível a aplicação de estatística, logo, passíveis de médias, medianas e outras análises, conforme a aplicação.

Neste caso a *Kr* foi realizada aplicando a média dos valores de cada parâmetro encontrado em cada estação de coleta, indicando a regionalização, isto é, a posição geográfica do dado e a sua distribuição de valores no estuário. Assim, para obtermos resultados mais precisos, passamos a aplicar a *Kr* para cada Fase do Projeto MS, de forma sazonal, separando os dados coletados na superfície, meio e no fundo.

Os resultados da aplicação das *Kr* realizadas com os parâmetros MS e Salinidade da Fase II dos Cruzeiros MS são mostrados na figura 4abcdef e figura 5abcdef. Utilizando os recursos do SIG podemos observar com clareza a distribuição espacial contínua dos valores pontuais. Os mapas, ao contrário das isolinhas, são importantes para identificar regiões onde a concentração de MS, por exemplo, é alta e que pode ser facilmente disponibilizada através da *Kr*. Observa-se nos mapas que as altas concentrações de MS (250 mg/ℓ) são provenientes das águas da Laguna dos Patos pelo fundo e no Outono (Fig. 5.4 c). A distribuição de Salinidade é maior no Outono (Fig 5.5 abc), com valores máximos no intervalo de 30 a 35 no fundo do Canal do Norte. Portanto a identificação do local onde existem as maiores concentrações de MS ou de qualquer outro parâmetro é facilmente realizada através de uma análise espacial. Desta forma, se pode ter rapidamente a solução para um problema de gestão, no caso a localização da maior turbidez.

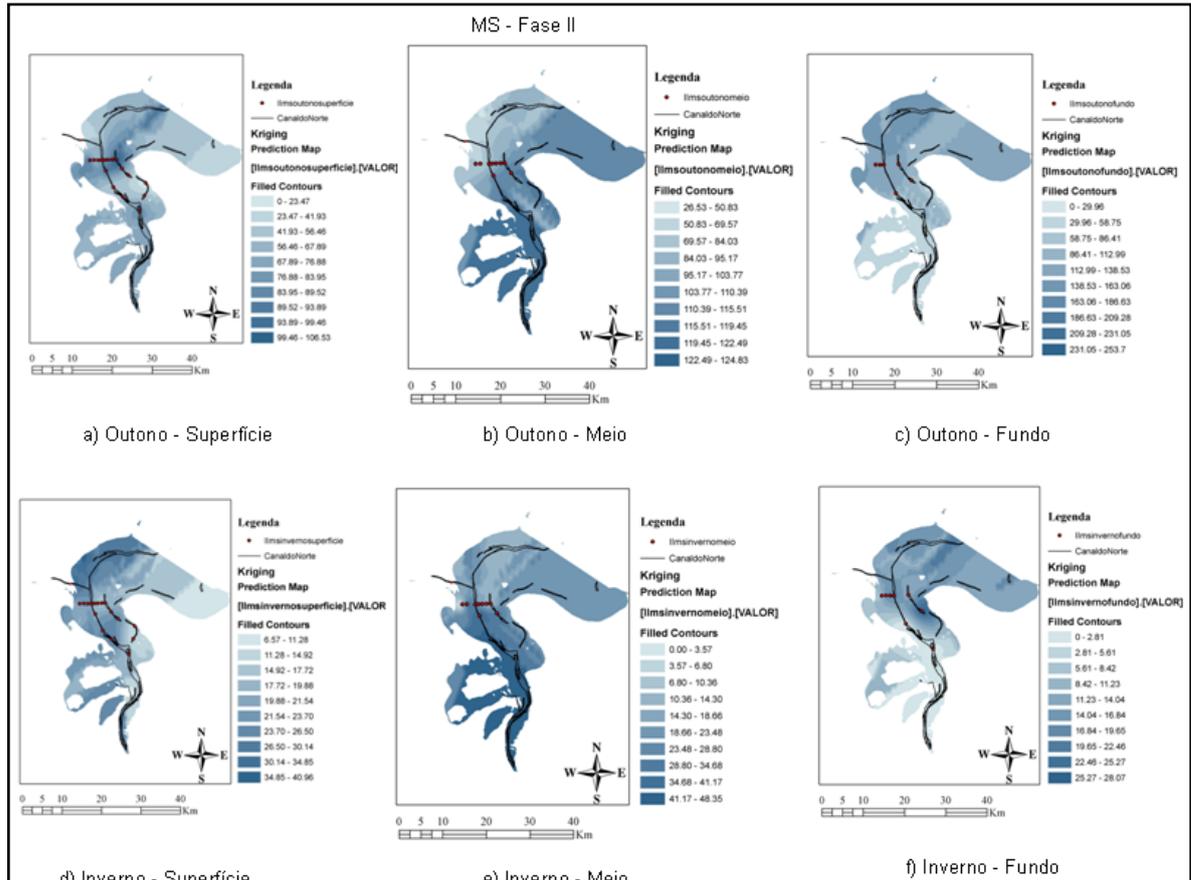


Figura 5.4 abcdef - Análise geostatística de *Krigagem* para os dados de todos os Cruzeiros da Fase II, MS no Outono superfície (a), meio (b) e fundo (c), no Inverno superfície (d), meio (e) e fundo (f).

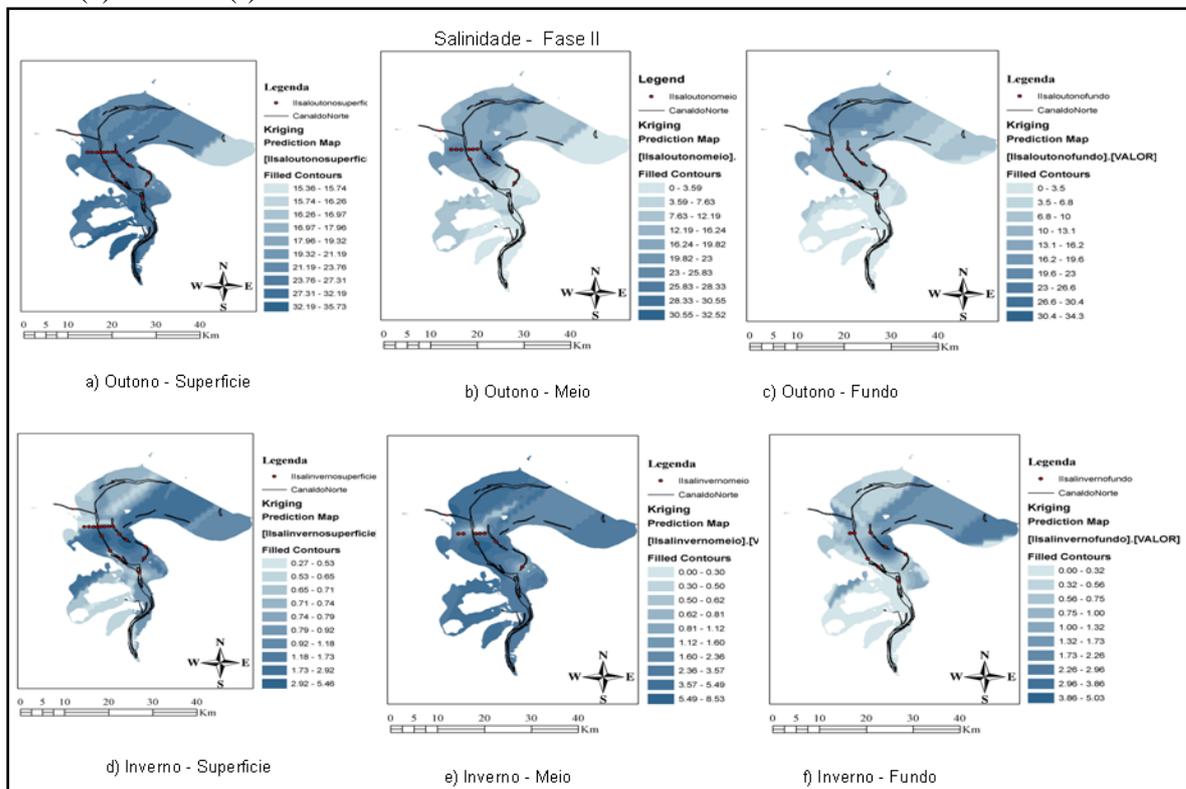


Figura 5.5 abcdef - Análise geostatística de *Kr* para os dados de todos os Cruzeiros da Fase II, Salinidade no Outono superfície (a), meio (b) e fundo (c), no Inverno superfície (d), meio (e) e fundo (f).

5.6 CONCLUSÃO

Os mapas gerados através de geoprocessamento com a técnica de interpolação *Kr*, permitiram uma melhor interpretação dos dados, facilitando assim a discussão a geração de novas informações de forma rápida e precisa. Isto só foi possível devido a de um BD.

Os mapas de superfície de contornos, ao contrário das isolinhas, são importantes para identificar regiões onde a concentração de MS, por exemplo, é alta e que pode ser facilmente disponibilizada através da *kr*. Observa-se pelos mapas das figuras 4 e 5 acima descritos que as altas concentrações de MS (250 mg/l) são provenientes das águas da Laguna dos Patos pelo fundo e no Outono (Fig. 5.4c).

A informação disponibilizada através do BD de um SIG deve ser de credibilidade aos usuários, porque o BD e a geração dos mapas georreferenciados, dependem de tempo e cuidado no momento de sua implementação. Ou seja, mesmo com todo o avanço tecnológico que hoje está disponível a todos é fundamental ainda a participação do operador na tomada de decisão, tanto na escolha das técnicas que serão empregadas ao longo da criação do BD quanto das análises estatísticas que serão realizadas.

O geoprocessamento com base no BD disponibiliza e facilita a visualização dos dados e resultados, gerando novas possibilidades de acesso, propiciando aos pesquisadores e comunidade em geral, a continuidade e a não sobreposição de uma pesquisa.

Salientamos que o BD contém todos os dados gerados no Projeto acima referido os quais estão disponíveis para a comunidade em geral. A importância da organização das informações através do geoprocessamento, como instituído pelo governo através do decreto nº 6.666 de 27 de novembro de 2008 e a padronização dos mesmos, traz para a pesquisa e ao gerenciamento dos órgãos públicos um recurso rápido e eficaz no momento da tomada de decisão.

Por último, o SIG pode ser disponibilizado via INTERNET, que é o meio que permite a amplificação do conhecimento com um baixo custo, permitindo aos pesquisadores a busca de informações básicas para a realização de novos projetos na área em diferentes níveis de gerenciamento.

5.7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LOG/IO pela disponibilidade do programa *ArcView 9.3* e ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica da FURG, pelo apoio.

5.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONOFF, S. 1991. *Geographic Information Systems: a management perspective*. WDL Publications. Ottawa. Canada. 1991p.

BARCELOS, C.; GRUBER, N. H.; QUINTAS, M.; FERNANDES, L. 2004. Complexo Estuarino de Paranaguá: Estudo das Características Ambientais com Auxílio de um Sistema de Informação Geográfica. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. UFP.

BURROUGH, P. A; MACDONNELL, R. A. *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford: Oxford University Press. 1998.

CALLIARI, L. J.; GOMES, M.E.V.; GRIEP, G.H.; MÖLLER O.O. 1980. Características Sedimentológicas e fatores ambientais da região estuarina da Laguna dos Patos. Anais dos XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriu, SC.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; FUCK, S. D.; MONTEIRO, A. M. Análise Espacial e Geoprocessamento. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>> Acesso em: 09.maio.2006.

CASANOVA, M.A.; CÂMARA, G.; DAVIS Jr., C. A.; VINHAS, L. e QUEIROZ, G.R. 2005. Banco de dados Geográfico. Ed. Mundo GEO, Bom retiro, Curitiba, PR. 477 p.

HARTMANN, C. 1986. Material em Suspensão, Corpos de água e circulação na desembocadura da Laguna dos Patos no período de 1982 a 1984, com dados oceanográficos e do sistema TM do satélite Landsat 5. Dissertação de Mestrado. INPE, São José dos Campos, SP. 170 p.

HARTMANN, C. 1989. Distribuição do Material em suspensão e circulação das águas na desembocadura da Laguna dos Patos, RS, Brasil. Contribuição ao Projeto Lagos dos Patos desenvolvida no projeto 70/84-FURG-Université de Bordeaux – CAPES/COFECUB). 134 p.

HARTMANN, C. 1996. Dinâmica, distribuição e qualidade do material em suspensão na região sul da Laguna dos Patos, RS. Porto Alegre, Tese de Doutorado. IG/CECO/UFRGS. 335 p.

HARTMANN, C.; CALLIARI, L.J. 1995. Composição e qualidade do material em suspensão durante alta turbidez na extremidade sul da Laguna dos Patos, RS. *Pesquisas*, 22(1-2): 74-83.

HARTMANN, C.; CALLIARI, L.J. e MÖLLER JR., O. O. 1990. Material em Suspensão no estuário da Laguna dos Patos (RS) – Fase I. Observações preliminares, abril/1979 a março/1980, *Sociedade e Natureza*, Uberlândia, 2(4):73-95, dez 1990, pp 73-95.

HARTMANN, C. e SCHETTINI, C. A. F. 1991. Aspectos hidrológicos na desembocadura da Laguna dos Patos, RS. *Revista Brasileira de Geociências*. 21(4):371-377, dezembro de 1991.

KANTIN, R. 1983. Hidrologie et qualité dês eaux de la region sud de la lagune dos Patos(Brésil) et de la plateforme continentale. These de Doctorat d'Etat ès-Sciences Université de Bordeaux I. France. 195 p.

MATHERON, G. 1962. *Traité de Geoestatistique appliqueé*. Tecnip, Paris, p333. IN: SILVA, A. de B. 2003. *Sistemas de informações Geo-Referenciadas – Conceitos e fundamentos*, Ed. Unicamp, Campinas. 235 p.

PAIVA, J. A.; LOPES, E. S.; YAMAGUCHI, F. Y. 2001. Banco de Dados Geográficos. DPI-INPE. SP.

PAIM, P. S. G. e MÖLLER Jr., O. O. 1986. Material em suspensão e dissolvido no estuário da Laguna dos Patos – Fase III, Relatório Final. Rio Grande, DGEO, FURG, 1986.133 p.

SILVA, A. de B. 2003. *Sistemas de informações Geo-Referenciadas – Conceitos e fundamentos*, Ed. Unicamp, Campinas. 235 p.

TUTORIAL ArcGIS 9.3 . *Geostatistical Analyst*. ESRI, 2001

DECRETO nº 6.666 de 27 de novembro de 2008. acesso no site http://www.mundogeo.com.br/noticias-diarias.php?idnoticia =12426elang_id, em 05/12/2008.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Considerações Finais

Dados antigos de áreas pesquisadas como o relatado nesta tese, organizados em um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) que tem uma variedade de funções para criar, editar, manipular, gerenciar e analisar dados espaciais e não espaciais, podem ser recuperados e novamente utilizados como base para a implementação de novas pesquisas, sem haver sobreposição de dados com a consequente otimização dos recursos. Isto somente é viável através da aplicação das novas geotecnologias de geoprocessamento cuja ferramenta básica para manipulação de dados são os Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

A modelagem do mundo real no ambiente computacional foi a base para espacializar e analisar variáveis utilizadas no estudo. Com os SIG existe a possibilidade de manipular os dados e a realização de diversas avaliações simulando procedimentos para atingir resultado satisfatório ao resultado proposto.

Da mesma forma como foi implementado o banco de dados das informações utilizadas nesta tese, outras informações da área podem ser integradas com a possibilidade de interagir aos demais dados e obter novos dados. Desta forma ficou evidente a importância de se dispor de novas tecnologias tais como as geotecnologias proporcionadas pelo geoprocessamento, para organizar e gerenciar as informações sem redundância e na possibilidade da rápida divulgação ao público em geral.

Através da geração do Banco de Dados Oceanográfico podemos demonstrar a interação entre os vários tipos de informações e seus atributos espaciais ou não, desde dados numéricos de diferentes escalas e formatos, alfanuméricos, plantas, mapas, cartas, e imagens. A padronização dos mesmos através de um mesmo sistema de coordenadas, e *datum* possibilitam a geração de *layers* a serem sobrepostos e então identificados os atributos desejados assim como análises espaciais, estatísticas e geométricas.

No momento em que automatizamos plantas históricas com as sondagens da região de estudo e adicionamos ao banco de dados georreferenciado, foi possível calcular o volume de sedimentos da região de estudo. Com a inserção no banco de dados das demais informações (sedimentologia, material em suspensão, temperatura, salinidade e outros), foram geradas novas camadas utilizando as rotinas de tratamento de dados estatísticos. Identificou-se que os resultados se comportaram conforme descrito através de análises estatísticas básicas podendo ser mais facilmente acessados e manipulados com maior precisão na identificação da localização, através da visualização espacial dos mesmos.

O banco de dados contendo as informações das plantas antigas com a sondagem realizada na época, os dados de sedimentologia e dos parâmetros ambientais, alimentaram o SIG Oceanográfico do Estuário da Laguna dos Patos, onde novas informações poderão ser inseridas a cada nova pesquisa implementada na área, as quais podem ser armazenadas de forma organizada e sistemática.

Identificou-se as mudanças morfológicas sobre a Barra ocasionadas pela fixação dos molhes, através da vetorização das plantas de 1883 a 1956, mudanças que refletem alterações nos padrões hidrodinâmicos associados à construção das estruturas as quais se tornaram barreiras as correntes de nordeste e causaram a amplificação e alteração na direção das correntes de enchente.

As variações anuais de volume revelam-se muito sensíveis à variabilidade anual dos agentes hidrodinâmicos, representados pelas correntes de vazantes e movimentos ondulatórios responsáveis pelo aporte e retirada de sedimentos do sistema.

Pelos cálculos executados e os valores encontrados, evidenciou-se que os fenômenos meteorológicos de El Niño de 1941 e de La Niña em 1917, influenciam respectivamente no aumento e diminuição do volume de sedimentos depositados na extremidade do CN e da BRG.

Na verificação do comportamento sazonal da hidrodinâmica do estuário, as informações inseridas mostram que devido às condições meteorológicas, este comportamento pode mudar em apenas algumas horas. A ampla variação espacial, vertical e horizontal ao longo do tempo poderá ser monitorada com grande rapidez através dos resultados expostos pela *Krigagem*, assim como novos dados poderão ser analisados com rapidez e eficiência.

Os dados de vento mostram a periodicidade do quadrante norte no inverno e na primavera impondo ao estuário um regime de vazante, reduzindo a salinidade da água e aumentando as concentrações de MS. Os ventos do quadrante sul presentes no verão e outono propiciam a entrada de água do mar no estuário reduzindo os níveis de MS, principalmente na região próxima ao Canal.

Através das *Krigagens* que podem ser observadas nos Anexos II e III as concentrações de MS na superfície da coluna d'água variando entre 5 e 300 mg/l ao norte. Ao sul a concentração média foi de 70 mg/l.

As áreas de maiores concentrações de MS podem ser identificadas nos baixios e bancos, causadas pela ressuspensão de material de fundo, devido a ação das ondas. Isso é verificado através da Análise Fatorial dos sedimentos distribuídos no estuário onde verifica-se também, através dos mapas gerados pela *krigagem* dos fatores, que as regiões de maiores concentrações de sedimentos finos são os baixios e bancos assim como os sedimentos muito finos como silte e argila encontram-se no fundo do canal, no estuário médio, região de baixa hidrodinâmica mais protegida dos ventos. É nesta região que ocorre o processo de floculação e posterior deposição do sedimento em suspensão.

O aporte de material vindo do canal São Gonçalo também foi identificado nas *Krigagens* de MS e dos sedimentos distribuídos no estuário com altas concentrações junto ao CSG, ocasionando a formação de pluma de pequenas dimensões na margem oeste do estuário, direcionando-se para o norte quando os ventos são do quadrante sul e para o sul quando os ventos são de NE.

A Análise Fatorial e posterior implementação da *Krigagem* nas amostras selecionadas por cada um dos 5 fatores mostrou que as quantidades de silte e argila são mais significativas nas regiões mais profundas dos canais e na região do estuário médio, enquanto que nas zonas rasas a quantidade de areia é dominante. Nas margens e grandes bancos, existe forte hidrodinâmica provocada pelo regime de ventos, onde por ação de “lavagem”(winnowing), esse processo causa ressuspensão dos sedimentos pela ação das ondas impedindo o depósito de sedimentos finos, mantendo os grãos de areia média. Estas características são observadas no lado leste da Ilha dos Marinheiros e da Torotama, áreas de constante erosão e na Região de Pelotas a areia média pode ser devida herança geológica.

Os resultados mostram uma distribuição de areia em toda a extensão do estuário e em determinadas áreas as concentrações mudam dependendo da profundidade e hidrodinâmica.

Pode-se verificar isso com facilidade nos mapas gerados pela *Krigagem*.

Na graduação de cores dos mapas as concentrações dominantes foram representadas pelas cores mais fortes.

Observou-se a concentração de mistura de silte e argila ao longo do canal de navegação, enquanto areia fina e média se direcionam as margens.

A presença de cascalho, ou areia média ocorre com maiores concentrações no lado noroeste do estuário, próximo a Pelotas, por se tratar da região mais próxima a área fonte de sedimentos. Este tipo de sedimento encontra-se distribuído em todo o estuário em proporções pequenas. Devido a isso atribuiu-se ser cascalho biodetrítico (conchas).

Além da facilidade e agilidade no acesso às informações proporcionadas por um SIG, padronizado numa única Base cartográfica, num único Sistema de Coordenadas e documentados através de um sistema de metadados geoespaciais, poderá ser disponibilizado através da WEB podendo ser implementado por qualquer pesquisador com novas informações e agilizando o trabalho de cientistas na detecção das informações e das pesquisas já realizadas na área.

Entretanto, a decisão de gerenciar todos os dados da área disponíveis até o momento deve ser feita através de um grupo de pessoas, as quais seriam as responsáveis pela manutenção e inclusão de novas informações, bem como para auxiliar usuários do BD na busca de informações como base de nova pesquisa, com a conseqüente diminuição de custo.

O SIG proporciona a formulação de novos cenários que podem ser interligados com outras bases de dados, contribuindo para o desenvolvimento de novas pesquisas. Facilita o planejamento bem como a aplicação racional do conhecimento do homem ao processo de tomada de decisões para conseguir uma ótima utilização dos recursos, a fim de obter o máximo de benefícios para a coletividade.

De acordo com o Decreto Nº 6.666 de 27 de novembro de 2008, o Governo Federal já se preocupa com o gerenciamento dos dados espaciais ao instituir, no âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Neste sentido nada

mais correto do que implantar nas Instituições Federais de Ensino Superior, caso da FURG, de projetos onde os dados sejam gerenciados mediante um SIG.

Ainda, considerando que o SIG pode ser disponibilizado via INTERNET, que representa hoje em dia o meio que permite a amplificação do conhecimento de forma rápida e com um baixo custo, estimularia a comunidade na busca de informação básica para a realização de novos projetos na área em diferentes níveis de gerenciamento.

É necessária a continuação deste trabalho através da organização das informações das pesquisas em todos os Institutos da Universidade através da criação de Laboratórios de Geoprocessamento que gerenciem as informações e disponibilizem em um único site afim de facilitar o acesso aos resultados até agora encontrados e aos dados coletados. A quantidade de informações geradas atualmente através de equipamentos faz com que informações fiquem guardadas, sem serem processadas. Um exemplo são as imagens de satélites geradas diariamente e sem análise de profissionais capacitados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTIQUERA, J. A. F. 2003. Evolução Geomorfológica de um Pontal Arenoso na Extremidade Sul da Laguna dos Patos/RS. Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande. Dissertação de Mestrado. 150p.
- ANTIQUERA, J. A. F. E CALLIARI, L.J. 2005. Características Sedimentares da Desembocadura da Laguna dos Patos. Revista GRAVEL. Porto Alegre. pp 39-46.
- ARONOFF, S. 1991. Geographic Information Systems: a management perspective. WDL Publications. Ottawa. Canadá. 294p.
- ASMUS, H.E. 1983. A Bacia de Pelotas no esquema evolutivo da Margem Continental Brasileira. In: Simpósio Brasileiro de Geologia I, Atas.Porto Alegre,SBG. pp 245-252.
- BAISCH, P. R. e WASSERMAN, J.C. 1998. Chemistry and Distribution of Trace Elements in the Patos Lagoon, South Brazil. In: Environmental Geochemistry in the Tropics. Ed. J.C. Wasseman. Lecture Notes in Earth Sciences. Vol 72. pp 97-106.
- BARCELOS, C.; GRUBER, N. H.; QUINTAS, M.; FERNANDES, L. 2004. Complexo Estuarino de Paranaguá: Estudo das Características Ambientais com Auxílio de um Sistema de Informação Geográfica. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. UFP.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. 2003. El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre. Editora da UFRGS. 110 p.
- BLASCHKE, T.; KUX, H. 2005. Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores: métodos inovadores/versão brasileira atualizada. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- BURROUGH, P.A. e MCDONNELL, R.A. 2005. Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press. 327 p.
- CALLIARI, L. J. 1980. Aspectos Sedimentológicos e Ambientais na Região Estuarial da Laguna dos Patos. Porto Alegre. RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado em Geociências, 190 p.
- CALLIARI, L.J., GOMES, M.E.V., GRIEP, G.H., MÖLLER Jr., O.O. 1980. Características Sedimentológicas e Fatores Ambientais da Região Estuarial da Laguna dos Patos. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Balneário Camboriú. Santa Catarina, pp 862-875.
- CALLIARI, L.J. 1990. Cross-Shore and Longshore sediment size distribution on S. Currituck spit, North Carolina – Tese de Doutorado School of Marine science oh College of William and Mary in Virginia. 193 p.
- CALLIARI, L. J. e KLEIN, A. H. F. 1993. Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. Porto Aegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Revista Pesquisas, No. 20. pp 48-56.

CALLIARI, L. J. 1994. Cross-shore and Longshore Sediment Size Distribution on Southern Currituck Spit, North Carolina: Implications for Beach Differentiation. *Journal of Coastal Research*, Fort Lauderdale, Florida. pp 360-373

CALLIARI L.J., WINTERWERP J.C., FERNANDES E., CUCHIARA D., VINZON S.B., SPERLE M., HOLLAND K.T.. 2009. Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon-Cassino beach sedimentary system. *Continental Shelf Research* 29 – Elsevier. pp 515-529.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; FUCK, S. D.; MONTEIRO, A.M. 2005. Análise Espacial e Geoprocessamento. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>
Acesso em: novembro de 2005.

CASANOVA, M.A.; CÂMARA, G.; DAVIS Jr., C. A.; VINHAS, L. e QUEIROZ, G.R. de. 2005. Banco de dados Geográfico. Ed. MundoGEO, Bom retiro, Curitiba, PR. 477 p.

CASTAING, P. , GENSOUS, B., KINGEBIEL, A., 1972. Caracterisation par l'analyse factorielle de faciès granulométriques sur le plateau continental au large de la Gironde. *Bull. Inst.Geol.Bassin Aquitaine*. 12:151-157.

COSTA, C.S.B., NOGUEIRA, R.X.S. 2003. Mapeamento das marismas do estuário da Laguna dos Patos(RS-Brasil) utilizando fotografias aéreas digitais 35mm no modo infravermelho. IX Congresso da Associação Brasileiro de Estudos do Quaternário.

CORRÊA, I. C. S.; AYUP-ZOUAIN, R. N.; WESCHENFELDER J. e TOMAZELLI, L. J. 2008. Áreas Fontes dos Minerais Pesados e sua Distribuição sobre a Plataforma Continental Sul-brasileira, Uruguai e Norte-argentina. *Revista Pesquisas em Geociências*, Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre, RS, 35(1). pp 137-150.

DAL CIN, R. 1976. The use of factor analysis in determining beach erosion and accretion form grain-size data. *Marine Geology*. 20:95 – 116.

DAVIS, J.C. 1973. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley e Sons. New York. 550 p.

DAVIS, P.J. 1984. *The Mathematics of Matrices*. R.E. Krieger Publ. Co.

DECRETO nº 6.666 de 27 de novembro de 2008. acesso no site http://www.mundogeo.com.br/noticias-diarias.php?idnoticia=12426elang_id, em 05/12/2008.

DE MORE, J. 2001. Aspectos Sedimentares do Estuário da Laguna dos Patos e sua interação com a poluição por petróleo:subsídios para um plano de contingência. Monografia de Graduação em Oceanografia. FURG.

FAIRBRIDGE, R. W. 1980. The estuary: its definition and Geodynamic cycle. In: Olausson, E.eCato, I. Eds. *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries* Chichester, Wiley. pp. 1-36.

GODOLPHIM, M. F. 1976. Geologia do Holoceno Costeiro do Município de Rio Grande, RS. Curso de Pós-Graduaçãoem geociências, IG/UFRGS. Dissertação de Mestrado. 146 p.

HAIR, J. F. 1995. *Multivariate Data Analysis:with readings*. 4.ed. New Jersey: Prentice Hall.

HARTMANN, C., CALLIARI, L.J. e CARDOSO, J.N. 1980. Aplicação do Sensoriamento Remoto nos processos estuarinos da Laguna dos Patos, RS. Fase I. *SBSR 2º*, Brasília, DF. pp 333-342.

HARTMANN, C. 1980. Estudo do material em suspensão e dissolvido das águas de superfície da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul, entre Torres e Rio Grande (Operação Geomar XIII, de 19 a 27 de Novembro de 1979). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Camboriú. Anais, Camboriú, Sociedade Brasileira de Geologia, 1980, vol. 2. pp 956-967.

HARTMANN, C. e SANO, E.E., 1986. Estudo da hidrologia e evolução das massas de água na Laguna dos Patos através de imagens MSS/Landsat, *RBG*. Vol 4. pp 215-228.

HARTMANN, C., PAZ, R.S., SANO, E.E. e MOLLER JR., O.O., 1986. Avaliação de um período de cheia (junho de 1984) na região da laguna dos Patos, através de dados de sensoriamento remoto, Meteorológicos e oceanográficos. In: *SBSR, 4º*, Gramado, RS. pp 654-659.

HARTMANN, C. e SILVA, O. F. da. 1988. Dinâmica sazonal da *pluma* de sedimentos na desembocadura da Laguna dos Patos, analisada através de imagens Landsat. *SBSR, 5º*, Natal. V4, pp.

HARTMANN, C. 1986. Material em Suspensão, Corpos de água e circulação na desembocadura da Laguna dos Patos no período de 1982 a 1984, com dados oceanográficos e do sistema TM do satélite Landsat 5. Dissertação de Mestrado. INPE, São José dos Campos, SP. 170 p.

HARTMANN, C. 1988. *Utilização de dados digitais do TM para a obtenção dos padrões de distribuição do material em suspensão na desembocadura da Laguna dos Patos, RS, Brasil*. São José dos Campos, SP, MSc., INPE. 190 p.

HARTMANN, C. 1989. Distribuição do Material em suspensão e circulação das águas na desembocadura da Laguna dos Patos, RS, Brasil. Contribuição ao Projeto Lagos dos Patos desenvolvida no projeto 70/84-FURG-Université de Bordeaux – CAPES/COFECUB). 134 p.

HARTMANN, C., FERNANDES da SILVA, O.; MENDES, C.A.B, HAERTEL, V, e NUNES, J.C. 1990. Estudo por Sensoriamento Remoto das “frentes” costeiras na região da desembocadura da Laguna dos Patos, RS. *SBSR, 6º*, Manaus. V 3 pp 577-586.

HARTMANN, C.; CALLIARI, L.J. e MÖLLER JR., O. O. 1990. Material em Suspensão no estuário da Laguna dos Patos (RS) – Fase I. Observações preliminares, abril/1979 a março/1980, Sociedade e Natureza, Uberlândia, 2(4):73-95, dez 1990. pp 73-95.

HARTMANN, C. e SCHETTINI, C. A. F., 1991. Aspectos hidrológicos na desembocadura da Laguna dos Patos, RS. *Revista Brasileira de Geociências*. pp 371-377.

HARTMANN, C.; CALLIARI, L.J. 1995. Composição e qualidade do material em suspensão durante alta turbidez na extremidade sul da Laguna dos Patos, RS. *Pesquisas*, 22(1-2): 74-83.

HARTMANN, C., 1996. *Dinâmica, distribuição e composição do material em suspensão na região sul da Laguna dos Patos, RS*. Porto Alegre. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil. 335 p.

HARTMANN, C. e CUNHA, R.M.P., 2007. Base de dados do Atlas Oceanográfico do estuário da Laguna dos Patos, RS, Brasil, Site da Intergraph, <http://www.intergraph.com>

HARTMANN, C. e CUNHA, R. M. P. 2007. Base de dados do Atlas Oceanográfico do Estuário da Laguna dos Patos – RS – BRASIL. LOG/DGEO/FURG. Campus Carreiros, Av. Itália km 8 – Rio Grande – RS – Brasil.

HARTMANN, C. e CUNHA, R. M. P. 2007. Atlas Oceanográfico do Estuário da Laguna dos Patos, RS, BRASIL: Uso do Sensoriamento Remoto e dados *in situ*. LOG/DGEO/FURG, Campus Carreiros, Av. Itália km 8 – Rio Grande – RS – Brasil.

HARTMANN, C. e CUNHA, R. M. P. 2007. Base de dados do Atlas Oceanográfico do estuário da Laguna dos Patos, RS, Brasil, Site da Intergraph, <http://www.intergraph.com>.

HERZ, R.. 1977 *Circulação das águas de superfície da Laguna dos Patos*. São Paulo – Tese de Doutorado em Geociência. Instituto de Geociências, USP. 234 p.

IMBRIE, J., PURDY, E. 1962. Classification of modern Bahamian carbonate sediments. In: Classification of Carbonate Rocks. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem 7:253-272.

IMBRIE, J., VAN ANDEL, T.H. 1964. Vector analysis of heavy-mineral data. Geol. Soc. Am. Bull. pp 1131-1156.

JORESKOG, K.G., KLOVAN, J.E. and REYMENT, R.A. 1976. Geological Factor Analysis. Elsevier Scientific Publishing Company, New York. 178 p.

JORESKOG, K.G., and REYMENT, R.A. 1996. Applied Factor Analysis in the Natural Sciences. Cambridge University Press. Cambridge. Austrália. 371 p.

KANTIN, R. 1983. Hidrologie et qualité des eaux de la region sud de la lagune dos Patos(Brésil) et de la plateforme continentale. These de Doctorat d'Etat ès-Sciences Université de Bordeaux I. France. 195p.

KJERFVE, B. e MAGILL, K. E. 1989. Geographic and hydrodynamics characteristics of shallow coastal lagoons. Marine Geology, 88: 187-199.

KLOVAN, J. C. 1966. The use of factor analysis in determining depositional environments from Grain-Size distributions. Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 36, No.1, pp 115-125.

KLOVAN, J.E., AND IMBRIE, J. 1971. An algorithm and FORTRAN-IV program for large scale Q-mode factor analysis and calculation of factor scores. Math. Geol. V3 pp 61-67.

KJERFVE, B.1989. Estuarine geomorphology and physical oceanography. In: Day, Jr.,J.W.;Hall, C.A.S;Kemp, W.M. and Yańcz-Arancibia,A.,eds., Estuarine Ecology. John Wiley e Sons,New York. pp 47-48.

LANDIM, P.M.B., 2000. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Departamento de Geologia Aplicada – IGCE, Laboratório de Geomatématica. UNESP. Rio Claro, São Paulo.

LANDIM, P.M.B., 2006. Análise Estatística espacial de dados geológicos multivariados. Departamento de Geologia Aplicada – IGCE, Laboratório de Geomatématica. UNESP. Rio Claro, São Paulo.

LÉLIS R.J.F. E CALLIARI, L. J., 2004. Historical Shoreline Changes Near Lagoonal and River Stabilized Inlets in Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39. pp 301-305.

LONG, T. e PAIM, P.S.G. 1987. Modelo de Evolução Histórica e Holocênica do Estuário da Laguna dos Patos, RS. Porto Alegre: ABEQUA, 1987. pp 227-248.

LONG, T. 1989. *Le Quaternaire du Rio grande do Sul. Temoin des Quatre Derniers Episodes Eustatiques Majeursrs. Geologie et Evolution*. Bordeaux, France. Tese de Doutorado, Universidade de Bordeaux. 183 p.

MARTINS, I. L. R. M. 1971. Sedimentologia do Canal do Rio Grande. Dissertação de Mestrado em Geociências. UFRGS. Porto Alegre. 38 p.

MATHERON, G. 1962. *Traité de Geoestatistique appliqueé*. Tecnip, Paris, p333. IN: SILVA, A. de B. 2003. *Sistemas de informações Geo-Referenciadas – Conceitos e fundamentos*, Ed. Unicamp, Campinas. 235 p.

MELO, V. SUMMERRHAYES, C.P. e TONER, L. 1974. Metodologia para o estudo do material em suspensão na água do mar. *Boletim Técnico da Petrobrás*. Projeto REMAC, 1974. Departamento de Geografia.

MENEZES, C. 1949. Enxaguamento e Drenagem para recuperação de Terras e Defesa Contra Inundações em Regiões e cidades Brasileiras. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. VI Congresso Panamericano de Engenharia, Julho de 1949. Departamento de Imprensa Nacional. Rio de Janeiro. RJ.

MITÁSOVÁ, H. E MITÁS, L., 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation. *Mathematical Geology*, Vol. 25, No.6. New York. USA. Vol. 25, No.6. pp 641-655.

MITÓSOVÁ, H. e HOFIERKA, J., 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis, *Mathematical Geology*, Vol. 25, No.6. pp 657-669.

MOTTA, V. F., 1969. Relatório-Diagnóstico sobre a melhoria e aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande ao DEPREC. Porto Alegre, RS: IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 114 p.

MOUSTAFA, M. S. J., 1988. Swash induced zonation of a foreshore sediment size distribution. Thesis Faculty of School of Marine Science, College William and Mary in Virginia. 138 p.

NETO, M. A. S. 2008. *Mineração Visual de Dados: Extração do Conhecimento a partir das Técnicas de Visualização da Informação e Mineração de Dados*. Experimentos: ITAIPU e SIMEPAR Dissertação de Mestrado, UFP(Paraná), PPGMNE(Métodos Numéricos em Engenharia- Concentração-Programação Matemática). 160p.

NIENCHESKI, L.F.H. e BAUMGARTEN, M.G., 1998. Química ambiental. Material em suspensão e oxigênio dissolvido. in: Seeliger, U., Odebrecht, C., Castello, J.P. (Eds).

OTMANN, F. 1974. Une nouvelle bouteille horizontale. vol. 3, Fasc. 1, Marine Geology, Short Communication.

PAIM, P.S.G. e MOLLER Jr.,O.O. 1986. Material em Suspensão e dissolvido no estuário da Laguna dos Patos, Fase III. Relatório final, Rio Grande, LOG/DEGEO/FURG. 150p. Inédito.

PAIVA, J. A.; LOPES, E. S. e YAMAGUCHI, F. Y., 2001. Banco de Dados Geográficos. DPI-INPE. SP.

PAZ, R. S. 1985. Fatores meteorológicos e sua influência ecológica: um exemplo no sistema estuarino da Laguna dos Patos, RS. Anais do III Encontro Brasileiro de Gerenciamento Costeiro, UFC, Fortaleza. pp 301-311.

PITOMBEIRA, E. S., 1975. Estimativa do Volume Anual de Transporte litorâneo na Costa do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 110 p.

RUMMEL, R. J. 1970. Understanding factor analysis. Conflict Resolution. Vol. XI. No. 4.

SEELIGER, U. ODEBRECHT, C. CASTELLO J.P. 1998. Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Editora Ecocientia.Rio Grande.RS. 326 p.

SILVA, A. de B. 2003. Sistemas de informações Geo-Referenciadas – Conceitos e fundamentos, Ed. Unicamp, Campinas. 229 p.

SOLOHUB, J.T. e KLOVAN, J.E. Evaluation of Grain-Size Parameters in Lacustrine Environments. Journal of Sedimentary Petrology, Vol.40, No. 1 pp 81-101.

SISGRAPH, 2007. Apostila curso GeoMedia Básico, Centro de Treinamento, São Paulo, Capital. 157 p.

SISGRAPH, 2007. Apostila curso GeoMedia GRID, Centro de Treinamento, São Paulo, Capital. 150 p.

SISGRAPH, 2007. Apostila curso CATALOG, Centro de Treinamento, São Paulo, Capital. 130 p.

TEIXEIRA, A.L.; MORETTI, E. e CHRISTOFOLETTI, A. 1997. Introdução aos sistemas de informação geográfica. Rio Claro: Ed. do Autor.

TOLDO JR. E.E. 1994. Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar, da Laguna dos Patos, RS. Tese de Doutorado. IG/UFRGS. Porto Alegre. 189p.

TUTORIAL ArcGIS 9.3 . Geostatistical Analyst. ESRI, 2001.

TUTORIAL GeoMedia Professional 6.0. 2004. Intergraph Corporation. Copyright Software©1995. Huntsville, Alabama.

VANS, A., 1996. Minerais Pesados como Traçadores Naturais na Dispersão de Sedimentos da Província Patos, Desembocadura da Laguna dos Patos. Monografia de Conclusão de Curso de Oceanologia. FURG, Rio Grande, RS.

VASSÃO, C. M. 1959. Planta da Barra do Rio Grande. Anos de 1883 a 1956 e 1814, 1849, 1866, 1875 e 1881, do Ministério da Viação e Obras Públicas do Departamento Nacional de Portos Rios e Canais – 18º distrito de Rio Grande – DEPREC. Rio Grande.RS.

VILLWOCK E TOMAZELLI, 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul, CECO/IG/UFRGS, Notas Técnicas. 8:1-45.

YAMAMOTO, J. K. 2001. Avaliação e Classificação de Reserva Minerais. São Paulo. SP. Ed. EDUSP. FAPESP. 226 p.

ANEXO I

Mudanças geomorfológicas naturais e antrópicas na embocadura da Laguna dos Patos antes e após sua fixação.

INTRODUÇÃO

A possibilidade do geoprocessamento de cartas históricas do canal de ligação (Canal do Norte - CN) entre a Laguna dos Patos e o Oceano Atlântico confeccionadas pelos estudiosos da antiga “Comissão de Melhoramentos da Barra do Rio Grande (BRG)” proporciona uma oportunidade ímpar de avaliar as alterações morfológicas e volumétricas causadas pelas variações hidrodinâmicas naturais e antrópicas resultantes das obras de engenharia para fixação do Canal do Norte (CN) sobre esta Barra. O sistema BRG encontra-se acoplado a embocadura da Laguna dos Patos cujo acesso se encontra fixado por dois molhes que comunicam a extremidade sul da Laguna com o Oceano Atlântico (Fig. 1).

A construção dos molhes da BRG foi a maior obra de engenharia costeira executada no Brasil. Os estudos para a construção começaram em 1883 tendo as obras sido iniciadas e concluídas respectivamente em 1910 e 1917. Até 1911 os trabalhos consistiram em obras preliminares, sendo a construção efetiva feita entre 1911 e 1915 época em que os efeitos da obra sobre a BRG fizeram-se sentir, particularmente a partir de 1914, ano chuvoso que provocou vazantes intensas e prolongadas no Canal do Norte. A conclusão do molhe leste se deu apenas no período de 1922 a 1928 (Motta, 1969). Os dois molhes convergentes apresentam uma orientação sudeste e atingiam na época de conclusão a isobatimétrica de 10 m sendo o molhe oeste mais curto que o leste ambos prolongando-se respectivamente por 4.012 m e 4.250 m a partir de suas raízes.

O objetivo deste trabalho é avaliar a evolução da linha de costa e a variação de volume dos sedimentos no Canal do Norte e sobre o núcleo da BRG durante o período anterior e posterior a construção dos molhes (1883 a 1956), visando estabelecer possíveis relações entre as mudanças morfológicas e volumétricas e os padrões hidrodinâmicos e climatológicos.

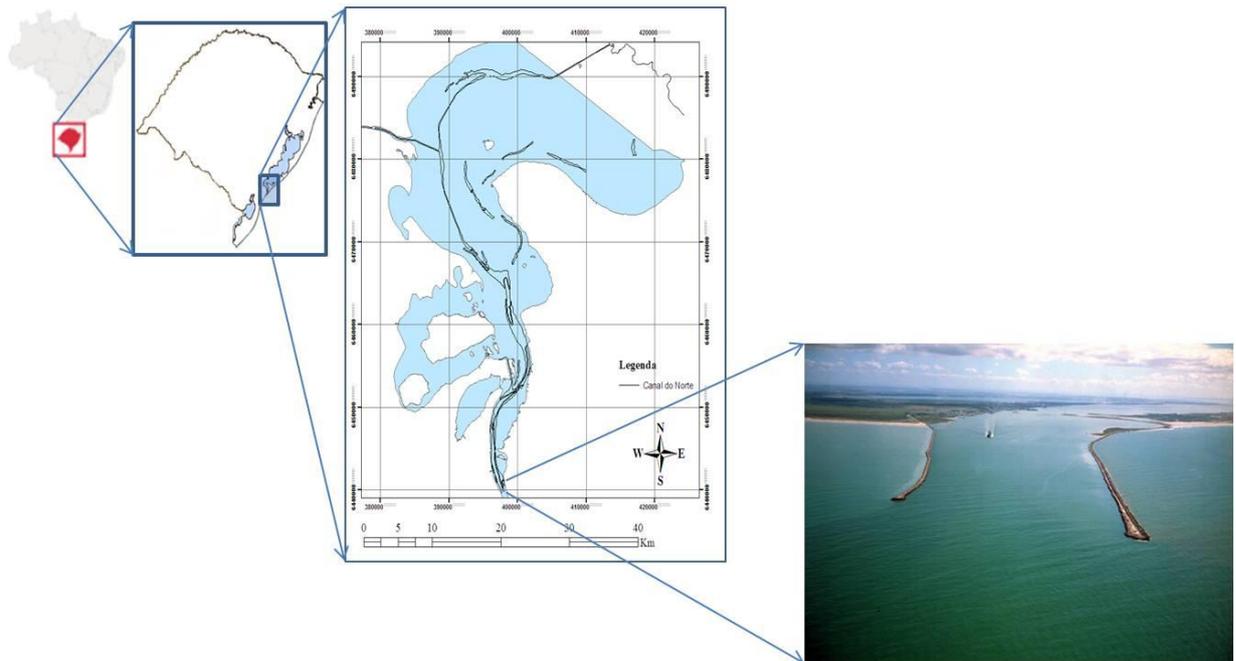


Figura 1. Localização do Sistema Barra do Rio Grande. Brasil – RS – Estuário da Laguna dos Patos – Barra do Rio Grande. Foto aérea oblíqua.

MÉTODOS

Plantas batimétricas de 1883 a 1956 (VASSÃO, 1959) da região da BRG e área adjacente, foram digitalizadas no formato jpg , através de um escaner A3. A vetorização e o georreferenciamento foi efetuado no software GeoMedia Professional v6.0 tendo como base o Google Earth ao qual foram adicionadas duas plantas datadas de 1883 e 1956 contendo pontos de referência para triangulação da área de construção dos molhes e seu posicionamento. As plantas foram superpostas como layers e tiveram seus contornos ajustados a uma imagem de 2006 do satélite Ikonos disponível. A grade padronizada, na escala 1:20.000, disponível em todas as plantas, contendo a localização dos pontos de triangulação e a definição de mais alguns pontos na grade, foi usada como referência para a extração de 14 pontos de controle para o georreferenciamento (Fig. 2) .

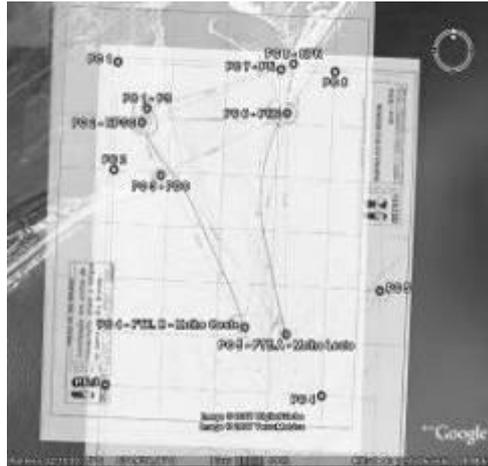


Figura 2 – Pontos de Controle para georreferenciamento das plantas.

Na opção Análises do GeoMedia foi executado o georreferenciamento e o cálculo das distâncias da linha de costa de cada planta, sendo as mesmas posteriormente rasterizadas com a finalidade de serem utilizadas no pacote GRID do GeoMedia, para realização dos cálculos de evolução da BRG e do volume de sedimentos entre os molhes.

Encontrou-se uma planta da BRG de 1875 de Sir John Hawkshaws na escala 1:50.000 onde pode-se ver que desde a embocadura até a direção da ponta da Mangueira (desembocadura do Saco da Mangueira no estuário), havia formação de esporões na costa leste da embocadura os quais principalmente antes e após a construção dos molhes internamente a embocadura se formavam na direção noroeste. Fez-se então o cálculo de medidas a fim de mostrar sua variação. Através das medidas das dimensões (comprimento e largura) dos esporões foi possível identificar a evolução dos mesmos durante todo o período de 1885 a 1956.

Para o período de 1885 a 1917 fizemos a medida do comprimento dos esporões a partir do início do lagamar até a ponta do esporão e as medidas de largura foi feita a uma distância de 5 a 10 metros da ponta final do esporão. Estas informações encontram-se na tabela 2. Para o período de 1918 a 1956, encontramos esporões apenas no lado leste da embocadura, externo e interno ao molhe leste. As medidas variaram conforme as mudanças observadas na direção e extensão dos esporões. O comprimento continuou sendo a partir do início do lagamar até a ponta do esporão. A largura do esporão externo ao molhe leste foi realizada aproximadamente ao centro do mesmo. Internamente ao molhe identificamos a formação de duas feições. Uma a partir de 1918 e outra a partir de 1940. As medidas da largura da feição que iniciou sua formação em 1918, esporão interno 1, foi definida a partir da raiz do molhe leste (Ponto 1). A segunda medida (ponto 2) a uma distância de 638m do ponto 1, a terceira (ponto 3) a distância de 1070m do ponto 1 e a quarta (ponto 4) a distância de 1500m da raiz do molhe (Fig 3.).

Para a feição que iniciou sua formação em 1940, esporão interno 2, a medida do comprimento foi realizada da mesma maneira, isto é, do início do lagamar até a ponta do esporão, a medida da largura no Ponto 1 é no início do lagamar, no Ponto 2 é a uma distância de 200 m do ponto 1, no Ponto 3 a uma distância de 450 m do ponto 1 e o Ponto 4, quando havia informação possível para realização da medida, esta variou de 570 m a 905 m de distância do ponto 1. Podemos verificar estas informações na tabela 3.

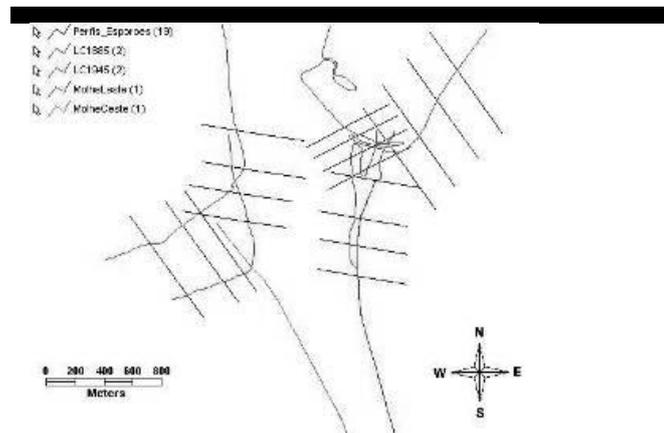


Figura 3 – Definição dos perfis utilizados para medidas dos esporões.

As taxas de acreção da linha de costa adjacentes aos molhes tanto externas como internas foram calculadas a partir da definição de perfis perpendiculares a linha de costa e paralelos entre si, em distâncias pré-definidas geralmente a intervalos de 500 m até uma extensão máxima de 3000 m sempre condicionada a existência de informação. Na tabela 4 podemos verificar os anos utilizados para os cálculos da taxa de acreção.

O cálculo do volume do núcleo da BRG foi feito a partir de intervalos das isobatimétricas variando entre -1 e -8 m sempre que encontrou-se a linha de batimetria fechada. Devido a grande variação do núcleo da BRG entre os valores de (-1,-6) m, (-4,-6) m, (-5,-9) m, definimos uma padronização para que os valores encontrados tivessem uma relação e as médias fossem utilizadas para comparação dos dados. Os intervalos definidos foram: entre (-1, -6) m para o período anterior a construção dos molhes, e (-5,-8) m e (-6, -8) m para o período posterior a construção dos molhes. Em alguns anos não foi possível realizar os cálculos dentro do intervalo proposto por falta de informações na planta.

Utilizando o método de interpolação Spline, construiu-se o Modelo Digital do Terreno (MDT), e com o pacote GRID executou-se o cálculo do volume de sedimentos entre os molhes, utilizando perfis e o cálculo do volume sobre o núcleo da BRG utilizando a área da mesma. Os anos escolhidos foram de épocas de climatologia normal, e anômala correspondente aos períodos de enchente e estiagem. O MDT, foi executado a partir do método de interpolação Spline aplicável a uma grande quantidade de dados podendo ser utilizado para interpolar uma

superfície contínua de pontos de amostragem. O Completely Spline de Mitosa e Mitas (1993) é um dos métodos utilizados no software de Geoprocessamento para a implementação do MDT.

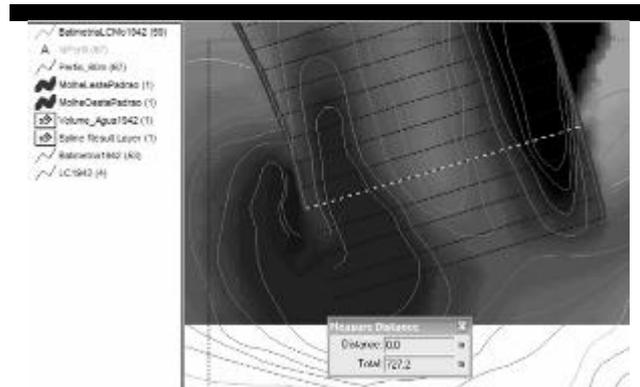


Figura 4 – Distância na extremidade entre os molhes da BRG.

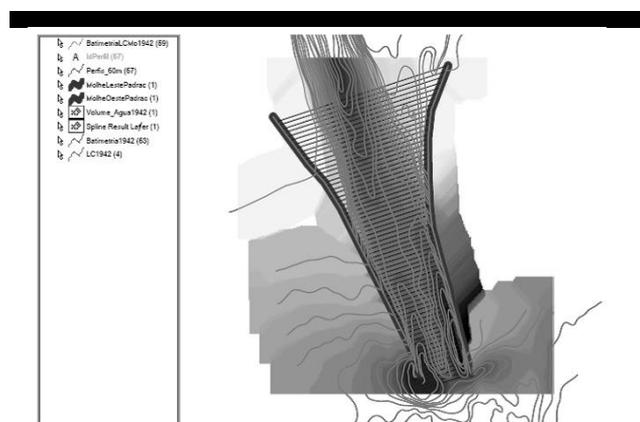


Figura 5 – Perfis entre os molhes da BRG.

Através da escolha da área de estudo, cartas de épocas de Climatologia Normal, de Enchente e de Estiagem, foram selecionadas, vetorizadas e então rasterizadas, carregando os dados de batimetria da BRG, gerando o MDT. Sessenta e sete (67) perfis foram traçados e definidos a distâncias regulares de 60 m transversais a área correspondente ao longo de toda a extensão dos dois molhes, abrangendo uma distância de 4020 metros.

As informações de batimetria de 1914 não foram suficientes para gerar o cálculo do volume uma vez que em 1913 os molhes encontravam-se em construção então foi gerado o volume a partir dos primeiros 28 perfis. Para 1917 foram utilizados os perfis de 1 até 63 pois também não se tinha informações suficientes. Para os outros anos foram utilizados todos os 67 perfis, considerando-se uma largura de aproximadamente 720 m na embocadura (Fig. 4) e uma extensão de 4020 m (Fig. 5). O gráfico de um dos perfis gerado pelo software quando da execução do cálculo do volume é mostrado na figura 6.

O cálculo do volume foi efetuado com base em polígonos fechados e grades retangulares do MDT a partir do valor central de cada célula da grade, correspondente a altura, multiplicada pelo valor da área disponível. Assim, o volume é dado pela equação:

$$V_t = A_c \sum_{i=1}^n Z_i$$

Onde:

A_c = cte, valor da área correspondente à cada célula;

Z_i = valor da altura de cada célula;

N = número de células

O volume de água e de sedimentos são calculados considerando-se a batimetria. A parte superior e inferior correspondem respectivamente aos volumes de água e sedimentos.

As plantas escolhidas para análise foram identificadas através de informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e representam anos de eventos climatológicos extremos correspondentes a El Niño e La Niña bem como a anos normais sem anomalias climáticas com o intuito de se estabelecer uma análise comparativa dos resultados.

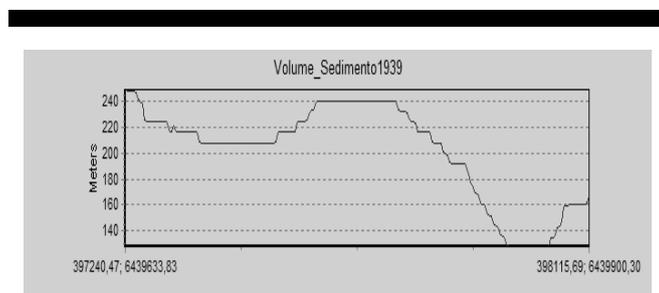


Figura 6 – Gráfico representativo de um dos perfis utilizado para o cálculo do volume entre os molhes da BRG.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Evolução de Esporões e da Linha de costa

A análise comparativa da linha de costa das plantas de 1885 a 1909 (Fig. 7), datas anteriores a construção dos Molhes da BRG mostram a extrema variabilidade da linha de costa. Nota-se na margem leste a progradação de um esporão arenoso com forma convexa voltada para o oceano, muitas vezes adentrando a embocadura lagunar caracterizando várias seqüências de formação e extinção de “lagamares” denominação portuguesa para

pequenas enseadas isoladas junto a extremidade leste da embocadura, evidenciando assim um transporte efetivo de sedimentos arenosos de nordeste para sudoeste via deriva litorânea. No lado sul da embocadura nota-se uma progradação efetiva da linha de costa evidenciando o efeito de “molhe hidráulico” desempenhado pela deriva litorânea de sudoeste para nordeste. Tais evidências foram depois consolidadas pelos trabalhos de Motta (1969) e Pitombeira (1975) os quais tornaram mais evidentes as características bidirecionais de transporte de sedimentos ao longo da costa do RS.

Durante o período de 1885 a 1915 observa-se esporões no lado oeste que formavam-se e extinguíam-se alternadamente na forma de um banco de areia. No lado leste da embocadura os esporões sempre foram freqüentes e de maior dimensão, decrescendo em tamanho e formando novos. Durante o período de construção dos molhes a formação dos esporões começou a ser definida no lado leste da embocadura com uma face côncava, ao contrário da anterior convexa voltada para o oceano. A formação de novos esporões pode ser observada a partir de 1918 e depois em 1940 (Fig. 8 e 9). Nas tabelas 2 e 3 temos os resultados obtidos das medições.

O esporão externo se mantém com um comprimento médio (1918 a 1956) 117.3 m e 211.7 m de largura. Um esporão interno começa a se formar apresentando comprimento entre 1918 a 1956 de 1375.9 m e as médias das medidas de larguras foram de de 154 m, 87.7 m, 109.4 m e 86.8 m respectivamente nos pontos 1, 2, 3 e 4. A partir de 1940 começa a se formar mais um esporão com comprimento entre 1940 a 1956 de 652.7 m, mas com tendência a aumentar pois nos últimos 3 anos seu comprimento foi maior que 700 m, e as médias das medidas de larguras foram de 179,7 m, 162.2 m, 168,6 m e 133,9 m respectivamente nos pontos 1, 2, 3 e 4.

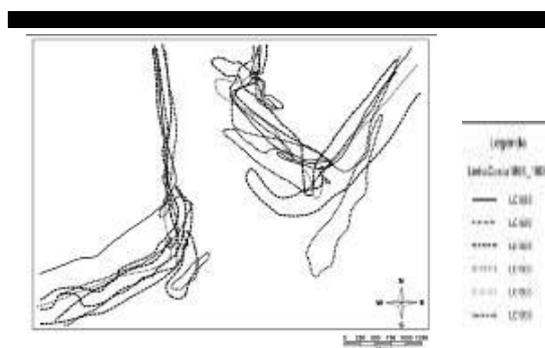


Figura 7 – Alterações da linha de costa no período de 1885 a 1909.

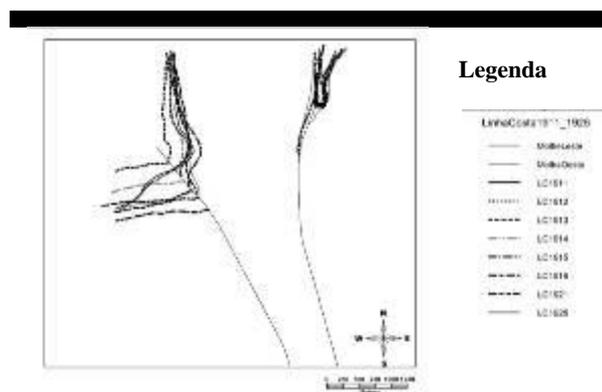


Figura 8. Alterações na linha de costa durante a construção dos molhes, de 1911 a 1926.

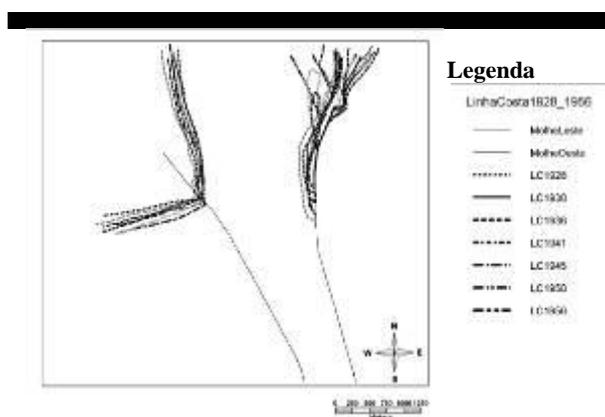


Figura 9. Linha de costa de 1928 a 1956. Após o término da construção dos molhes.

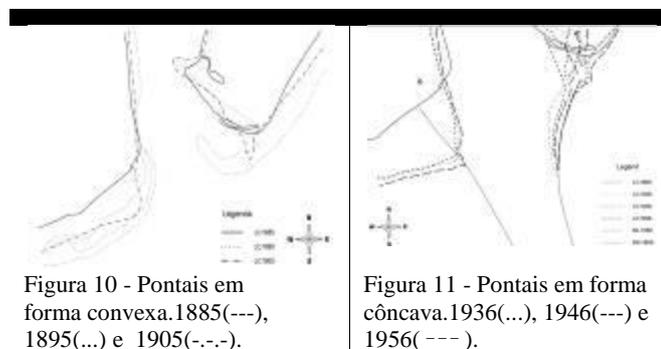
Durante a construção dos molhes da BRG (Fig. 8) pode-se acompanhar as alterações ocorridas na linha de costa, onde identificamos avanço da margem oeste e alterações na margem leste, esta com pequeno avanço próximo ao molhe e recuo a mais de 1000m de distância da raiz do molhe. Verificamos uma alteração muito rápida no período de 1911 a 1928 quando da construção dos molhes principalmente ao sul da estrutura. Na tabela 4 podemos verificar os valores encontrados para as taxas de variação da linha de costa, antes, durante e após a construção dos molhes oeste e leste. Para o molhe oeste, externo a embocadura verificamos uma taxa de acresção da linha de costa de 4.74m/ano (1885-1911)(Fig. 7), 1.11 m/ano(1911-1928)(Fig. 8) e 1.36 m/ano(1928-1956)(Fig. 9). Internamente mediu-se 1.21 m/ano (1885-1911), 0,08m/ano (1911-1928) e -0.12 m/ano (1928-1956).

As taxas para o molhe leste, externo a embocadura verifica-se um recuo da linha de costa com uma taxa de erosão de -2.89 m/ano (1885-1911), -1.91 m/ano(1911-1928) e -0.45 m/ano(1928-1956). Internamente mediu-se recuo da Linha de costa a Norte com -0.47 (1885-1911), -2.82 m/ano(1911-1928) e -2.13 m/ano(1928-1956). Junto ao molhe leste em direção Sul a linha de costa avançou em 3.34m/ano (1911-1928) e 0.07m/ano(1928-1956). Lélis e

Calliari (2004) verificaram através da análise de fotografias aéreas da costa do RGS uma acreção na LC ao sul da estrutura em 4.10m/ano e ao norte a 3000m de distância da raiz do molhe leste uma taxa de -1.44m/ano.

Após o término da construção dos molhes identifica-se que as mudanças não foram tão extremas, havendo uma estabilização da linha de costa junto ao molhe oeste e as alterações da linha de costa junto ao molhe leste, onde formam-se pontais na parte interna do molhe.

A análise feita sobre as cartas nos 30 anos anteriores ao final da construção mostrou comportamento variável evidenciando avanço e recuo da linha de costa em ambas margens. O fato da acreção considerável ao sul da estrutura demonstra a efetividade do transporte líquido de sedimentos (deriva litorânea) de sudoeste para nordeste neste trecho da costa. Morfologicamente o pontal leste, apresentava uma face convexa voltada para o oceano com um esporão arenoso prolongando-se para o interior da embocadura formando feições regionalmente denominadas de “lagamares” (Fig.7 e 10). Por outro lado o fato de encontrarmos um pequeno avanço na linha de costa ao norte e próximo a estrutura(500m) e recuo a distância de 1000m da mesma evidencia a efetividade de um transporte litorâneo secundário de nordeste para sudoeste. O comportamento da linha de costa nesses dois setores reforça o caráter bidirecional de transporte sedimentar ao longo da costa do RS já salientado por outros pesquisadores na década de 1960 (MOTTA, 1969).



A fixação do molhe leste sobre o pontal reorientou o mesmo alterando a forma da face voltada para o oceano tornando-a côncava. Tais mudanças devem-se a amplificação das correntes de enchente durante tempestades provindas de sul, as quais formam correntes que adentram no costado interno do molhe oeste prolongando-se em toda extensão entre os molhes, alterando a direção para noroeste modificando assim a morfodinâmica do pontal (Fig. 11) .

Evolução da Barra do Rio Grande (BRG) e Canal do Norte (CN)

A análise da evolução da BRG, no período de 1885 e 1956, é subdividida em três períodos. O primeiro antes da construção dos molhes entre 1885 e 1909, o segundo entre 1911 e 1928 quando da construção efetiva dos dois molhes da BRG e um terceiro período de 1928 a 1956, após o término da obra.

As alterações da BRG e CN antes da construção dos molhes mostra que ambos apresentavam variações significativas (Fig.12), em função das variações climáticas e sazonais em resposta as variações de fluxo da laguna induzidas pelo volume d'água na bacia de drenagem e pela ação das ondulações oceânicas. Nota-se assim que o canal na sua porção marinha adquiria uma forma bifurcada variando também sua direção, migrando de sudoeste a sudeste, permanecendo mais tempo nesta última direção, parecendo indicar que seria esta a melhor orientação que maximizaria o fluxo da laguna e conseqüentemente definindo a orientação dos dois molhes.

A importância entre o fluxo da laguna e a ação das ondas devido as mudanças na direção do vento foram salientada por Calliari, mostrando quando da ação dos ventos predominantes de NE, NNE e ENE coincidentes com o eixo da laguna, geram um declive no nível da água em direção ao mar auxiliando desta forma a vazante pelo degrau hidráulico gerado pelo aumento do nível da laguna ao norte. Efeito semelhante é gerado por ventos do quadrante SSW a WSW que se apresentam na mesma orientação do eixo da laguna, mas com sentido contrário, gerando desta forma um represamento de águas a montante do canal, estabelecendo uma forte corrente de enchente (Calliari, 1980).

Observa-se também que o canal de acesso se mantinha a uma profundidade máxima de 5 metros, atingindo profundidades maiores apenas nos anos de 1886 com -8 m, voltando a diminuir para -6 e -7m nos anos seguintes entre 1891 e 1894. Durante a construção do molhes (Fig. 13 e 14) em 1914 e 1915, época de um evento de El Nino observa-se um aprofundamento natural do canal para -8 m devido a maior ao maior volume de chuvas na bacia de drenagem. Um novo El Nino entre 1919 e 1920 aprofundou o canal para -9 m mantendo-o com esta profundidade até 1928 e em 1929 alterando para -10 m .

A partir deste ano se manteve em -10 m e depois de 1941(El Nino) ano de um evento de El Nino muito forte o qual causou enchente no estado, passou para -14m.

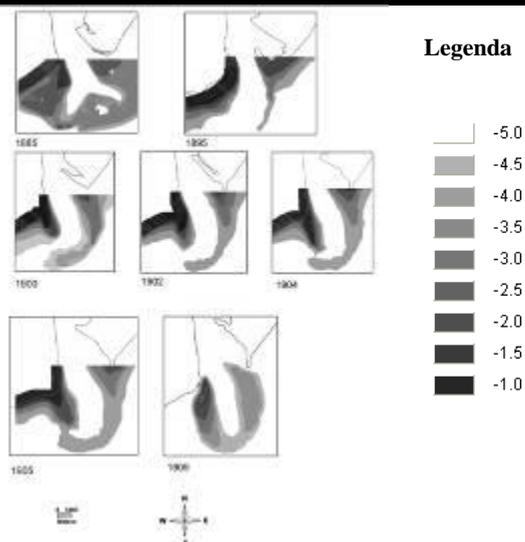


Figura 12. Alterações da BRG e CN no período de 1885 a 1909. Antes da construção dos molhes.

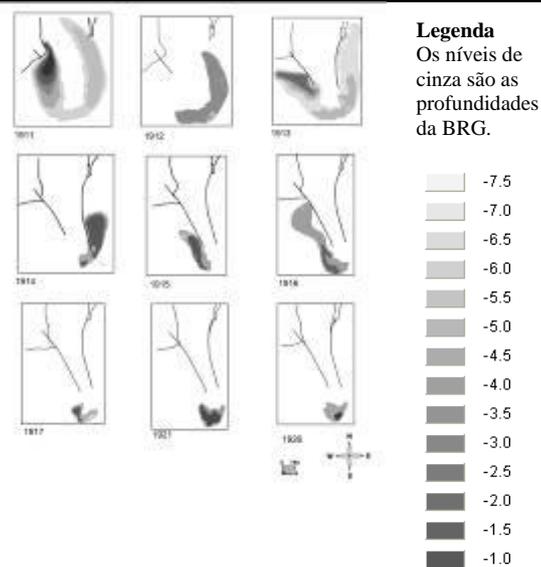


Figura 13. Alterações da BRG no período de 1911 a 1926. Durante a construção dos molhes.

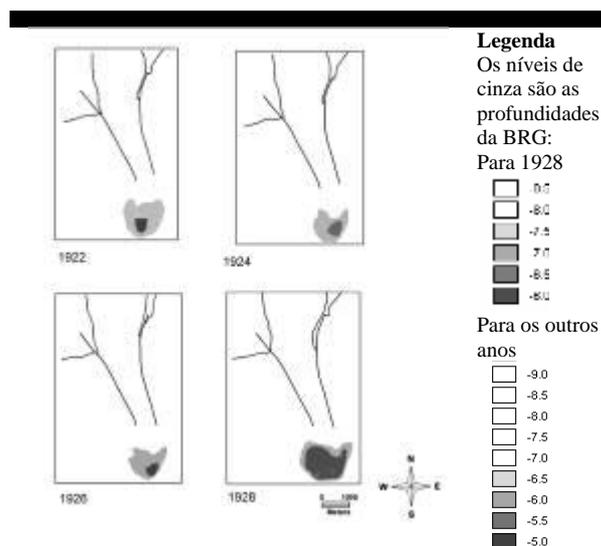


Figura 14. Alterações da BRG no período de 1922 a 1928. Durante a segunda etapa da construção dos molhes.

Nas figuras 15 e 16 pode-se observar o deslocamento da Barra no período de 1928 a 1956 e na tabela 1 tem-se os resultados das medidas feitas do centro entre os molhes e o centro da BRG. A figura 15 mostra os anos de 1928, 1930, 1936, 1945, 1950 e 1956. A figura 16 mostra as distâncias entre as Barras de 1885 e 1956, 1900 e 1956 (antes e depois da construção); 1914 a 1928 (durante a construção); e do centro dos molhes até o centro da BRG após o término efetivo da construção dos dois molhes em 1928.

Na figura 16 pode-se verificar estas mudanças. No item 15 da mesma figura, indica-se a medida da distância do centro dos molhes (o centro do canal de acesso ao porto de Rio Grande) e o núcleo da BRG em 1928. Esta medida foi realizada para datas posteriores a 1928, após o término da construção dos molhes e na tabela 1 podemos verificar os valores encontrados. A Barra sofreu um deslocamento progressivo a partir da construção dos molhes. Antes a instabilidade era uma constante.

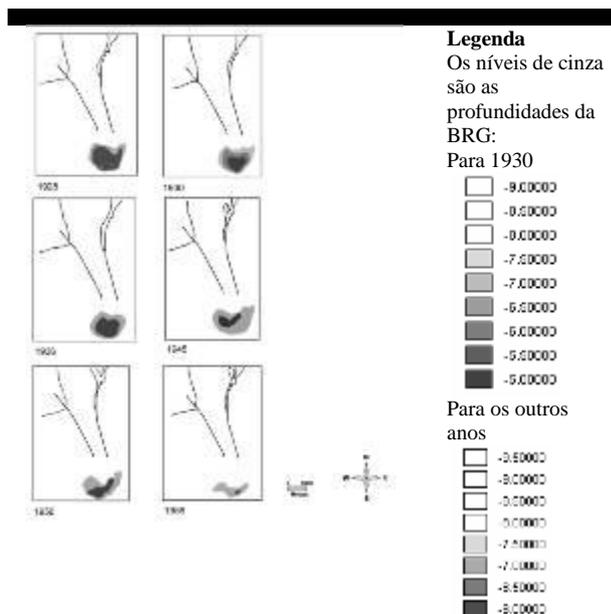


Figura 15. Alterações da BRG no período de 1928 a 1956. Após a construção dos molhes.

A variação total no deslocamento no período de 1885 a 1956, entre os centros da BRG foi de 5.665m.

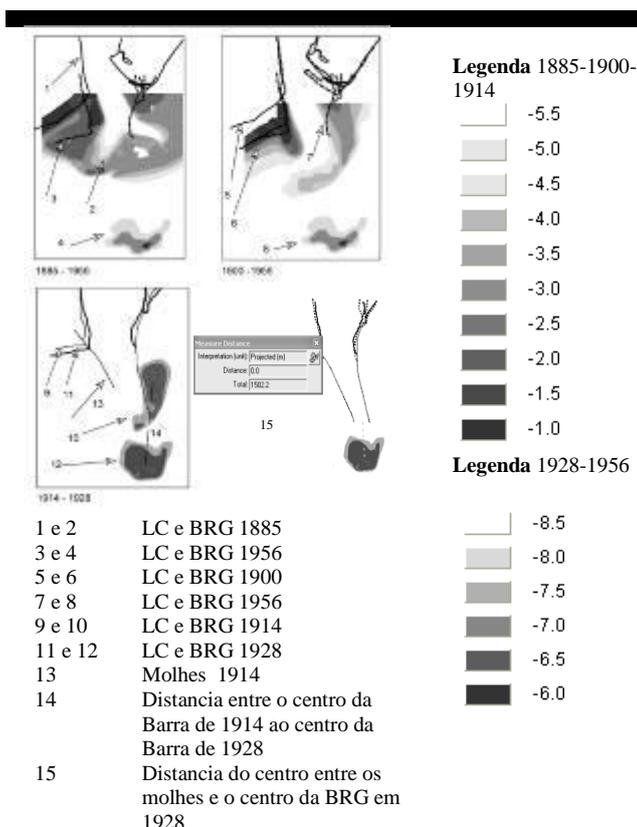


Figura 16 – Evolução da BRG. Comparação com a localização da Barra em 1885 até 1956.

Observamos que entre 1900 e 1956 a amplitude de 5000m se mantinha. Uma medida adicional realizada entre 1909(previamente ao início da obra) e 1956 indicou um valor aproximado de 5000 m (4926 m). O valor da distância medida cai para 3366 em 1914 quando a maior parte da

obra já tinha sido realizada. A partir de 1928 quando do término da construção do molhe leste a média da distância entre o ponto central entre o molhe oeste e o molhe leste e o centro da BRG passou a ser de 1767 m para 28 anos (de 1928 a 1956). A enchente de 1941 fez com que esta distância fosse alterada, deslocando a BRG em 527 m (Tab. 1).

Tabela 1 – Deslocamento da BRG entre 1885 e 1956.		
Distância (m) do centro da embocadura ao centro da BRG		
Ano	Lado Oeste	Lado Leste
1885	1,293.90	
1895	2,205.30	
1905	3,312.80	
1909	2,152.00	1,925.20
1911	1,775.30	2,198.70
1912	4,054.20	
1914	4,194.60	
1917	6,025.60	
1921	6,145.80	
1924	6,193.50	
1928	6,232.00	
Distância do centro dos molhes(centro entre as extremidades dos molhes(730m/2) e o centro da BRG		
1917	1,681.10	
1921	1,655.40	
1924	1,606.20	
1928	1,635.90	
1930	1,774.00	
1936	1,558.00	Deslocamento da BRG após a enchente de 1941
1939	1,662.00	
1942	2,189.00	527.0 m
1945	1,735.00	
1950	1,893.00	
1956	1,928.00	

Volume da Barra do Rio Grande

Embora a embocadura livre do Canal do Norte não migrasse ao longo da costa, a Barra variava anualmente em termos de profundidade de controle, afastamento em relação à linha de costa e configuração expressa pela orientação, número e localização dos canais naturais (Motta,1969). A fim de identificarmos as mudanças volumétricas ocorridas antes, durante e após a construção dos molhes, foram realizados os cálculos do volume do núcleo da Barra de RG do período entre 1885 a 1956, enfatizando as épocas de extremos climatológicos e normais.

Os cálculos do volume da BRG correspondentes aos anos de El Niño, La Niña e normais, assim como os intervalos das isobatimétricas são mostrados na tabela 5. Observa-se que antes da construção dos molhes a extrema variabilidade da Barra impossibilitava os cálculos de volumes comparativos entre épocas de extremos climatológicos.

Durante a construção o mesmo acontece em função da grande variação dos dados e também por falta de informações em algumas plantas. Após a construção conseguimos definir um padrão e verificar que o volume da BRG em épocas de El Niño apresentava um volume médio de 2,350,454 m³, em época de La Niña 2,793,821 m³ e em períodos normais 2,667,500 m³ (Tab. 6). Os valores encontrados se mostram menores que o período normal quando do evento de El Niño (épocas de cheias) e maiores quando La Niña (estiagem prolongada). A falta de levantamentos batimétricos em 1941 impossibilitou a determinação de volume do núcleo da Barra nesse ano. A informação mais precisa desta época é relatada por Motta, 1969 quando mostra a posição da isobatimétrica de 10 m antes e depois da enchente de 1941 (Fig. 17). Identifica-se que em épocas de estiagem temos acréscimos de sedimento no Canal do Norte e na BRG, acontecendo o contrário em épocas de vazante, evidenciando assim um aumento de volume de sedimentos tanto na BRG como no CN durante períodos de estiagem. As variações de volume associada as diferentes épocas podem ser explicadas pela variação das condições hidrodinâmicas. Períodos de enchente na bacia de drenagem aumentam o fluxo da laguna causando “dragagens naturais” tanto na extremidade do canal como na BRG evidenciando assim o predomínio das correntes de vazante sobre o regime ondulatório. Contrariamente, períodos de estiagem prolongada favorecem a ação de ondulações que tendem a transportar sedimentos em direção a embocadura.

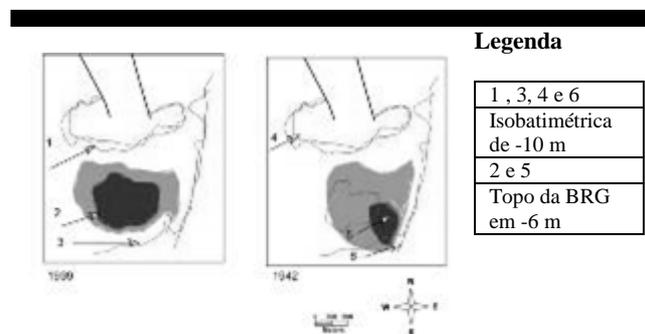


Figura 17. Posição da isobatimétrica de 10 m antes e depois da enchente de 1941.

Durante e após a construção do molhes a BRG sofreu um deslocamento progressivo se distanciando da embocadura e da ponta dos molhes após o término da construção. O deslocamento total de 1885 a 1909 antes do início da construção dos molhes foi de 759 m, de 1911 a 1928, durante a construção foi de aproximadamente 6000 m e após o término de 1930 a 1956 o deslocamento se deu em média de 1500 m.

Volume de sedimentos entre os molhes Oeste e Leste

O cálculo do volume entre os molhes mostrou que em épocas de extremos climatológicos, caracterizados pelo período de El Niño, culminando com a histórica enchente de 1941, o volume de sedimentos acima da profundidade de 25m apresentou os valores de 67,936,800.00 m³ em 1919, 65,394,622.49 m³ em 1941 e 76,626,202.49 m³ em 1947. Na passagem de La Niña que culminou com a estiagem de 1917 os valores foram de 77,797,674.98 m³ em 1917, 75,118,230.00 m³ em 1939 e 73,083,410.01 m³ em 1954. Em períodos normais como 1915, 1921, 1942 e 1943 obtém-se, respectivamente, os valores de 79,094,864.99 m³, 70,396,572.48 m³, 66,473,434.99 m³ e 67,893,629.99 m³. Calculando-se a média aritmética sobre os valores encontrados identifica-se 69,127,615.66 m³ para épocas de El Niño, 74,218,752.50 m³ para épocas de La Niña e em períodos normais 71,654,607.13 m³(Tab. 7). Os valores encontrados para as épocas de El Niño são menores que os valores encontrados em períodos normais, sendo esses últimos inferiores aos encontrados durante períodos de La Niña.

Evidencia-se assim, através dos valores de volumes encontrados, que existe deposição de sedimentos durante a estiagem e erosão durante a enchente. Em períodos normais, tem-se um volume intermediário entre esses extremos. Tais observações encontram subsídios nos dados de vazão medidos no canal uma vez que a descarga de água doce é uma das forçantes que controla o fluxo de sedimentos na porção inferior do estuário. Os valores alcançados pela descarga de água doce variam de 700 m³ s⁻¹ durante períodos de estiagem prolongada (final de Dezembro a Março) alcançando valores de 3.000 m³ s⁻¹ durante a primavera (Setembro a início de Dezembro). Em períodos de enchentes na bacia de drenagem, a descarga de água doce atinge valores superiores a 4.0000 m³ s⁻¹, sendo a média anual de 2.000 m³ s⁻¹. Em 1941 por ocasião de grande enchente, valores de vazão medidos na embocadura alcançaram 20.000 m³ s⁻¹. (MOTTA, 1969)

O volume de sedimentos movimentados durante o período da construção foi de 12 milhões de metros cúbicos, deslocando o núcleo da BRG em direção ao mar.

As épocas de ocorrência do fenômeno El Niño na região sul do Brasil, são marcadas pela intensificação de chuvas que provocam o escoamento da bacia de drenagem da Laguna dos Patos. Ventos N, N-NE, NE e E-NE, sopram na direção do comprimento do CN, impulsionando as águas da Laguna para o Canal, elevando o nível da parte montante do canal. Os ventos de NE acarretam duplo efeito favorável aos escoamentos de vazante: elevam o nível d'água na parte de montante do CN e abaixam o nível do mar. Já as épocas do fenômeno meteorológico La Niña, são marcadas por estiagens e grandes secas quando a estiagem é muito intensa. Os ventos S-SW, de SW e de SW-W geram escoamentos de enchente, abaixando o nível do CN e elevando o nível do mar.

CONCLUSÕES

A análise da variação da linha de costa mostra que a construção dos molhes alterou a geomorfologia do sistema da BRG (Fig. 17), causando avanço acentuado da linha de costa ao sul da estrutura e um pequeno acréscimo ao norte, bem próximo a raiz do molhe. Isso evidencia a predominância do transporte litorâneo de sudoeste para nordeste nesse setor da costa do RS.

A implantação dos molhes para fixação do passe sobre a Barra ocasionou mudanças morfológicas especialmente no pontal leste. Tais mudanças refletem alterações nos padrões hidrodinâmicos associados a construção das estruturas as quais se tornaram barreiras as correntes de nordeste e causaram a amplificação e alteração na direção das correntes de enchente.

Os valores encontrados para o volume entre os molhes e sobre o núcleo da BRG durante o período analisado, comprovam o caráter móvel da BRG a qual se encontra em permanente ajuste morfodinâmico. As variações anuais de volume revelam-se muito sensíveis a variabilidade anual dos agentes hidrodinâmicos, representados pelas correntes de vazantes e movimentos ondulatórios responsáveis pelo aporte e retirada de sedimentos do sistema.

Pelos cálculos executados e os valores encontrados, evidenciou-se que estes fenômenos meteorológicos de El Niño de 1941 e de La Niña em 1917, influenciam respectivamente no aumento e diminuição do volume de sedimentos depositados na extremidade do CN e da BRG.

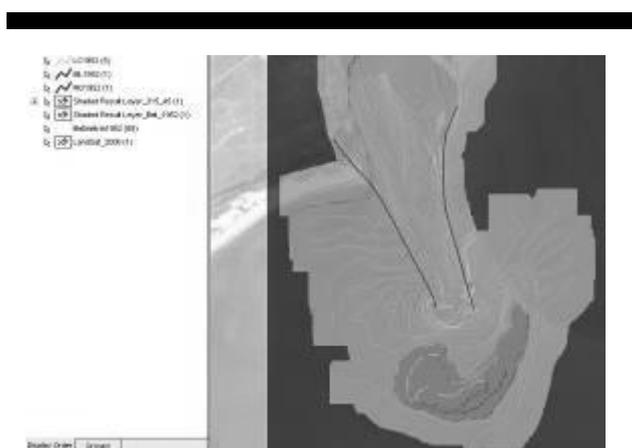


Figura 17. Sistema BRG com informações de 1952.

Tabela 2. Medidas do comprimento e largura dos esporões durante o período de 1885 a 1917

Ano	Esporões do lado Oeste da Embocadura				Esporões do lado Leste da Embocadura			
	Externo		Interno		Externo		Interno	
	C	L	C	L	C	L	C	L
1885					785.0	57.7	1,592.9	553.0
1890	809.8	160.3	557.5	305.0	2,816.6	331.7	1,845.3	722.0
1895	3,603.9	179.5			1,950.3	245.7		
1900					1,673.3	155.2		
1905					352.0	147.8	435.3	253.2
1909	1,118.6	245.9	205.2	75.8	730.6	158.8	806.3	248.0
1911					654.3	122.6	53.9	22.0
1912					161.0	20.3	102.3	39.9
1913							83.2	27.0
1914							75.9	34.7
1915							78.4	31.9
1916								
1917								

C - comprimento
L - largura

Tabela 3. Medidas do comprimento e largura dos esporões durante o período de 1818 a 1956

Anos	Esporões MolheLeste													
	Esporão Externo		Esporão Interno - 1				Esporão Interno - 2							
	C	L	C	L	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	C	L	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4
1918	203.4	178.9	1220.0	31.2										
1919	153.4	174.7	1209.5	48.7	34.3	49.5								
1920	140.6	150.9	1297.6	33.0	21.6	47.1								
1921	89.5	217.3	860.5	68.6	29.9									
1922	115.9	204.0	1093.1	90.3	60.3	27.1								
1924	65.4	257.2	1031.1	95.0	51.8									
1926			887.1	136.1	45.0									
1928	127.4	155.4	1357.0	90.1	174.6	150.4								
1930	98.1	158.7	1338.3	105.2	142.0	76.8								
1936	124.3	193.8	1722.4	166.4	255.1	216.8	158.3							
1939	88.4	198.4	1394.1	68.5	114.2	75.0								
1941	95.7	183.8	1471.4	120.0	51.8	105.7		385.8	122.6	99.0	54.5			
1942	128.5	197.7	1493.4	121.1	71.4	75.2		388.9	157.3	113.4	61.2			
1943	134.6	192.3	1553.5	303.5	141.2	139.1		543.3	175.7	117.4	149.9			
1945	71.9	131.7	1446.0	377.4	81.4	117.1		588.0	179.3	135.9	168.3	56.0		
1946	152.9	282.5	1394.5	229.2	73.2	102.4		905.6	89.2	133.5	262.7	162.3		
1947	100.5	254.9	1485.4	270.6	69.2	92.9		815.8	175.1	212.5	224.6	123.1		
1950	143.6	378.1	1623.5	280.5	32.6	105.2	49.2	800.0	336.9	314.7	290.0	293.0		
1952	91.6	356.4	1599.7	241.8	79.5	135.3	56.6	700.0	258.6	201.9	132.3	124.5		
1954	51.0	107.3	1794.3	238.6	143.8	230.5	103.8	700.0	257.0	200.0	175.2	100.0		
1956	168.8	259.5	1621.9	118.0	81.1	113.5	66.0	700.0	45.6	94.0	167.7	78.2		

Tabela 4. Acreção da Linha de costa ao sul e nordeste do molhe oeste e ao sul, norte o noroeste do molhe leste, entre 1885 a 1956

		Molhe Oeste											
		Tempo (anos)	Distância Medida ao Sul da embocadura da Laguna dos Patos				TA (m/ano)	Distancia ao Norte da embocadura da Laguna dos Patos				(m)	
1885	1911	26	100m	500m	1000m	2000m		100m	500m	1000m	1500m		
			LC(m)	114.70	100.42	136.45	141.58		140.62	13.80	-19.70	-9.10	
			TA(m/ano)	4.41	3.86	5.25	5.45	4.74	5.41	0.53	-0.76	-0.35	
			Distância Medida ao Sul da raiz do molhe Oeste					Distancia ao Norte da raiz do molhe Oeste					
1911	1928	17	100m	500m	1000m	2000m		100m	500m	1000m	1500m		
			LC(m)	42.96	27.38	-13.87	--		-1.91	12.87	-0.90	-4.68	
			TA(m/ano)	2.53	1.61	-0.82	--	1.11	-0.11	0.76	-0.05	-0.28	
1928	1956	28											
			LC(m)	35.61	35.46	43.23			5.89	-7.86	1.97	-13.03	
			TA(m/ano)	1.27	1.27	1.54		1.36	0.21	-0.28	0.07	-0.47	
			Molhe Leste										
			Distância Medida a NE da embocadura da Laguna dos Patos					Distancia ao NO da embocadura da Laguna dos Patos					
1885	1911	26											
			LC(m)	-187.78	-55.18	-34.84	-22.38		83.50	7.22	-57.08	-82.46	
			TA(m/ano)	-7.22	-2.12	-1.34	-0.86	-2.89	3.21	0.28	-2.20	-3.17	
			Distância Medida da raiz NE do molhe Leste					Distância Medida da raiz NO do molhe Leste					
1911	1928	17	500m	1000m	1500m	2000m		200m	500m	750m	1500m		
			LC(m)	17.48	-82.25				-5.17	-12.09	-126.60		
			TA(m/ano)	1.03	-4.84			-1.91	-0.30	-0.71	-7.45		
1928	1956	28											
			LC(m)	3.19	-28.60				-25.80	-5.34	-147.47		
			TA(m/ano)	0.11	-1.02			-0.45	-0.92	-0.19	-5.27		

continuação das últimas 6 linhas da tabela 4

		Distância Medida da raiz SUL do molhe										
1911	1928	17										
			LC(m)	25.43	57.97	87.00						
			TA(m/ano)	1.50	3.41	5.12						3.34
1928	1956	28										
			LC(m)	-18.02	-14.04	-4.70	44.10					
			TA(m/ano)	-0.64	-0.50	-0.17	1.58					0.07

Identificação de informações da tabela 4

1885-1911 - Antes da construção dos molhes

1911-1928 - Durante a construção dos molhes

1928-1956 - Após a construção dos molhes

LC - Linha de costa - medida em metros(m)

TA - Taxa de acreção- medida em metros por ano(m/ano)

Tabela 5. Cálculo do Volume de Sedimentos na BRG e o respectivo intervalo de batimetria utilizado para o cálculo. A letra F significa evento de Forte intensidade e M um evento Média intensidade

	El Niño			La Niña			Normal	
1895	16,357,978.00	(-1,-5)	1904(F)	18,422,983.00	(-1,-5)	1885	21,148,709.00	(-1,-5)
1902(F)	16,553,435.00	(-1,-5)	1909	11,735,575.00	(-1,-5)	1900	15,025,398.00	(-1,-5)
1905	18,518,767.00	(-1,-5)						
1911	5,328,725.00	(-4,-5)	1913	5,504,482.00	(-3,-5)			
1912	2,764,107.00	(-4,-5)	(seco)			1915	3,312,118.00	(-4,-6)
1914(M)	3,249,299.00	(-4,-6)	1916	0.00				
1918	4,708,933.00	(-5, -8)	1917(F)	3,549,345.00	(-5, -8)			
			(seca)					
1919(F)	3,612,811.00	(-5, -8)	1924(M)	3,013,296.00	(-5, -8)	1936	2,723,287.00	(-6, -8)
			1928	3,511,713.00	(-5, -8)	1942	3,227,760.00	(-6, -8)
1926(F)	3,068,600.00	(-5, -8)	1939(F)	3,126,809.00	(-6, -8)	1943	2,758,762.00	(-6, -8)
1941(F)	0.00		1946	2,813,818.00	(-6, -8)	1945	2,736,601.00	(-6, -8)
1947(M)	2,720,408.00	(-5, 8)	1954	1,503,473.00	(-6, -8)	1952	1,891,094.00	(-6, -8)

Tabela 6. Média do Volume de Sedimentos na BRG, antes , durante e depois da construção dos molhes para os eventos de El Niño, La Niña e em época normal.

	Média	El Niño	La Niña	Normal
Antes	1885 a 1909	17,143,393.33	15,079,279.00	18,087,053.50
Durante	1911 a 1918	4,012,766.00	3,017,942.33	3,312,118.00
Depois	1919 a 1956	2,350,454.75	2,793,821.80	2,667,500.80

Tabela 7. Cálculo do Volume de Sedimentos entre os molhes da Barra do Rio Grande no período durante a construção dos molhes de 1911 a 1927 e depois da construção até 1956

	Sedimentos		Sedimentos		Sedimentos
El Niño	Vazante (chuva)	La Niña	Enchente (seca)	Normal	
1911					
1913	53,828,210.00	1916		1915	79,094,864.99
1914		1917	77,797,674.98	1920	64,316,454.99
1918	69,634,564.65	1924	66,062,090.01	1921	70,396,572.48
1919	67,936,800.00	1928	78,263,102.50	1922	
1926	76,543,902.48	1939	75,118,230.00	1930	76,414,790.00
1939		1950	75,070,609.99	1936	76,992,502.49
1941	65,394,622.49	1954	73,083,410.01	1942	66,473,434.99
1946	73,929,007.49	1956	74,136,149.99	1943	67,893,629.99
1947	76,626,202.49			1945	
Média					
Durante a Construção dos molhes					
	66,985,869.28		74,040,955.83		71,269,297.49
Geral					
	69,127,615.66		74,218,752.50		71,654,607.13

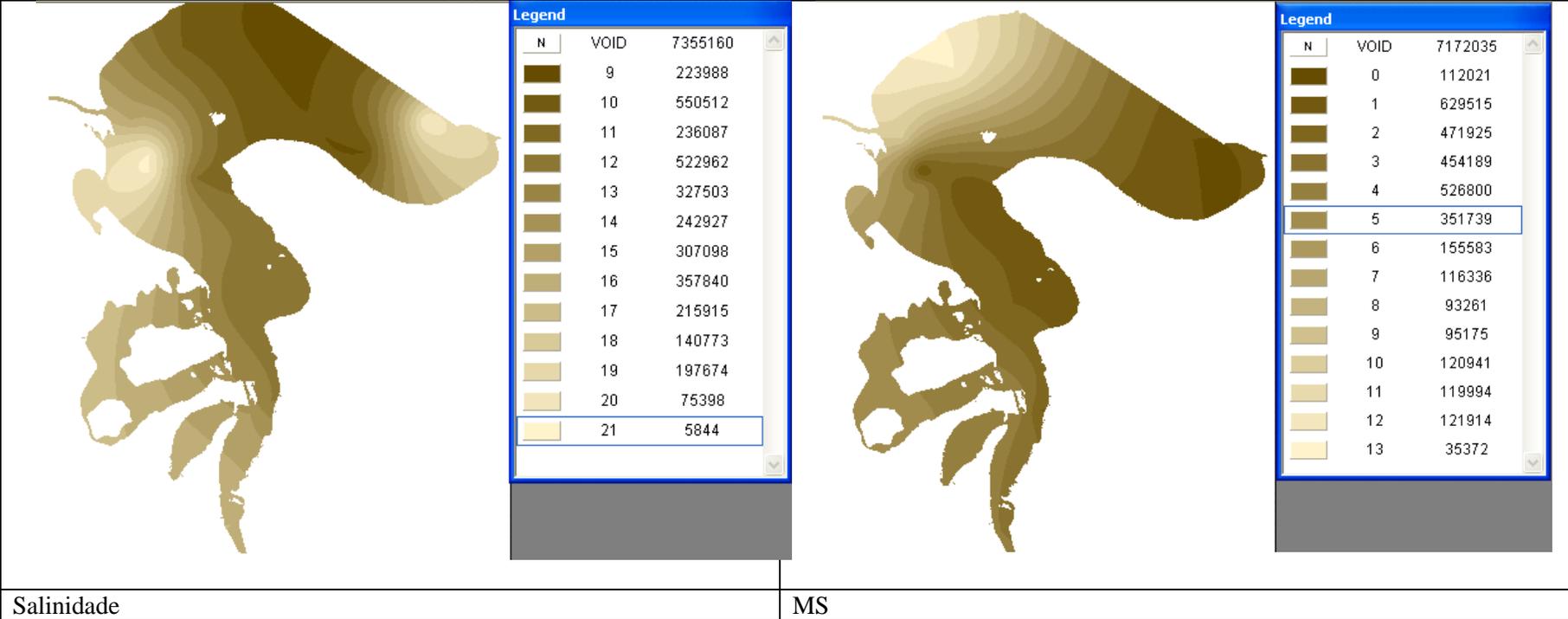
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTIQUERA, J.A.F. 2003. Evolução Geomorfológica de um Pontal Arenoso na Extremidade Sul da Laguna dos Patos/RS. Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande. Dissertação de Mestrado. 150p.
- BURROUGH, P.A. and MCDONNELL, R.A. 2005. Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press.
- BURNINGHAM, H. and COOPER, J. A. G. 2004. Morphology and historical evolution of north-east Atlantic coastal deposits: the west Donegal estuaries, north-west Ireland. UK, *Journal of Coastal Research*, 41, 148-159.
- CALLIARI, L. J. GOMES, M e V. GRIEP, G.H. and MÖLLER, Jr. O.O. 1984. Características Sedimentológicas e Fatores Ambientais da Região Estuarial da Laguna dos Patos. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, V.2. pp 862-875.
- CALLIARI, L. J. KLEIN, A. H. F. 1993. Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Revista Pesquisas, No. 20. pp 48-56.
- MENEZES, C. 1949. Exaguamento e Drenagem para recuperação de Terras e Defesa Contra Inundações em Regiões e cidades Brasileiras. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. VI Congresso Panamericano de Engenharia em Julho de 1949. Departamento de Imprensa Nacional. Rio de Janeiro. RJ.
- MITOSOVA, H. and MITAS, L. 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation, *Mathematical Geology*, Vol. 25, No. 6.
- MITOSOVA, H. and HOFIERKA, J. 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis, *Mathematical Geology*, Vol. 25, No.6
- MOTTA, V.F. 1969. Relatório-Diagnóstico sobre a melhoria e aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande ao DEPREC. Porto Alegre, RS: IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 114p.
- PITOMBEIRA, E.S. 1975. Estimativa do Volume Anual de Transporte itorâneo na Costa do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 110p.
- TUTORIAL GEOMEDIA PROFESSIONAL 6.0, 2004. Intergraph Corporation. Copyright Software©1995. Huntsville, Alabama.
- VASSÃO, C. M. 1959. Planta da Barra do Rio Grande. Anos de 1883 a 1956 e 1814, 1849, 1866, 1875 e 1881, do Ministério da Viação e Obras Públicas do Departamento Nacional de Portos Rios e Canais – 18º distrito de Rio Grande – DEPREC. Rio Grande. RS.

ANEXO II

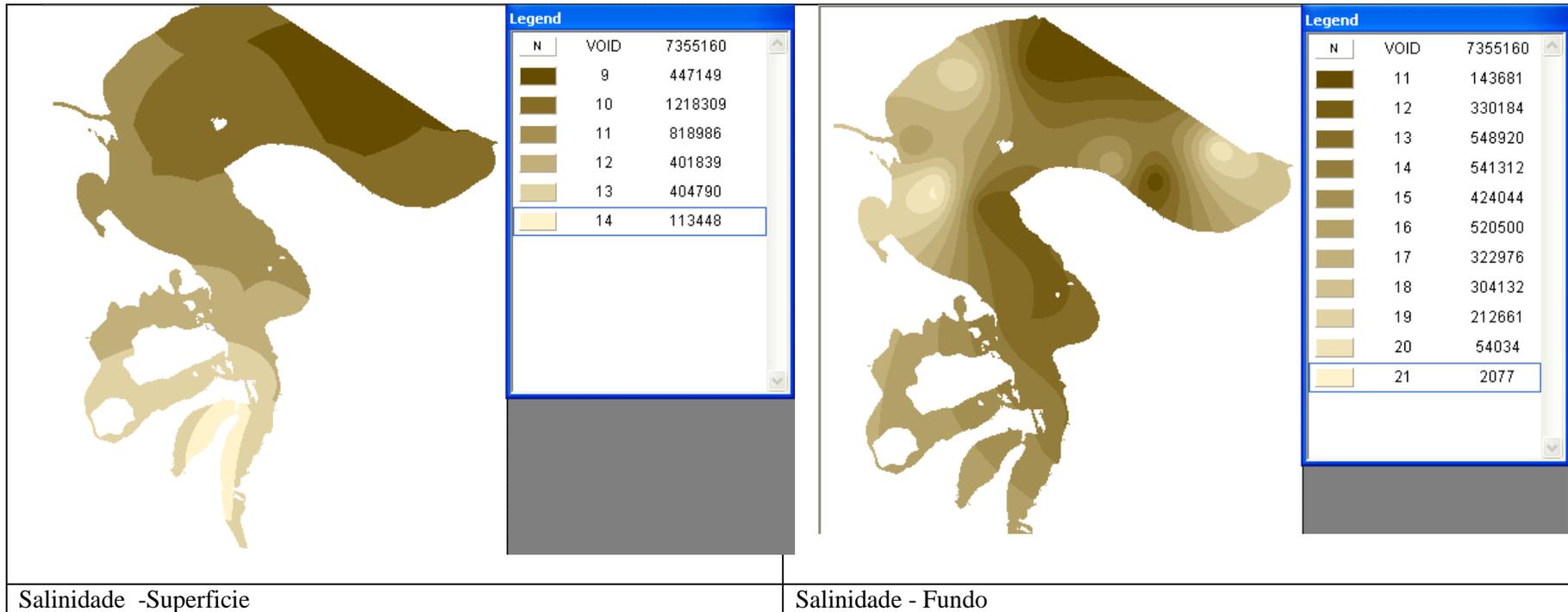
Krigagens com os dados dos Cruzeiros MS Fase I, utilizando o software GeoMedia Professional 6.0.

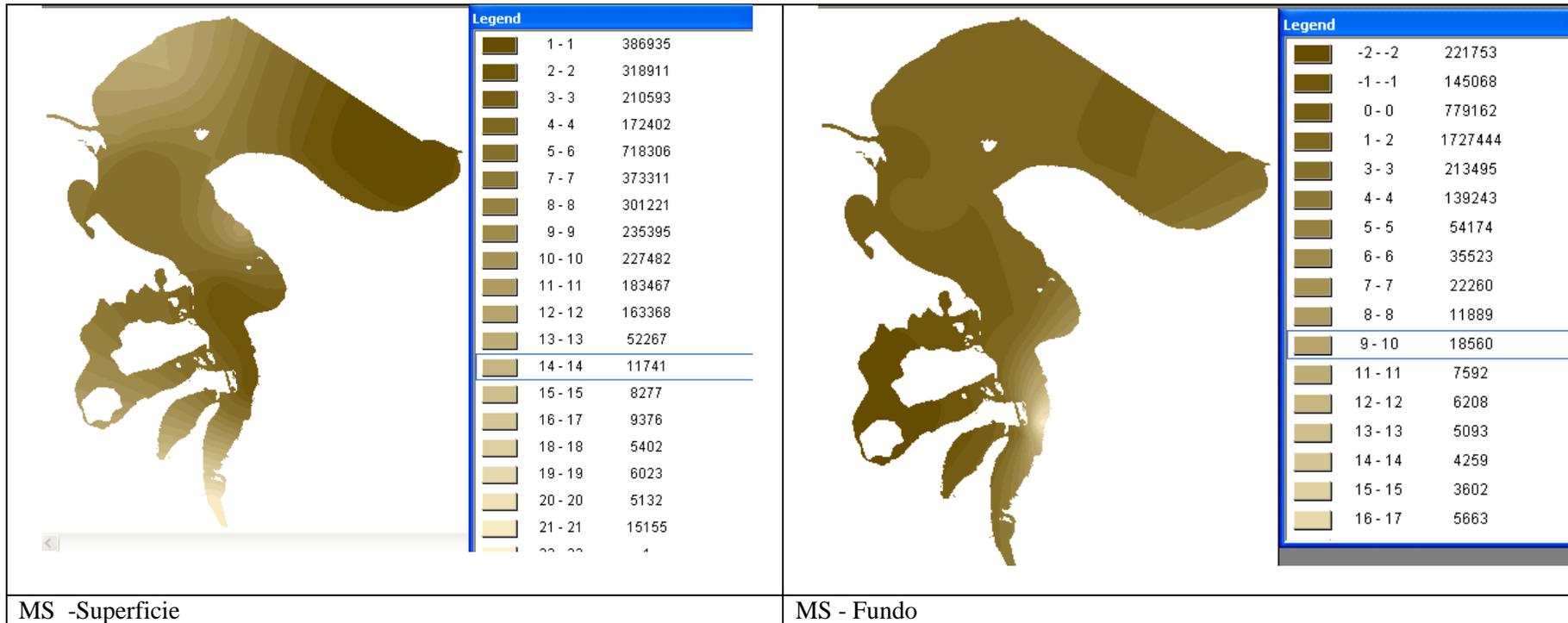
Resultados da análise geoestatística de Krigagem para os dados dos Cruzeiros da Fase I - Outono.

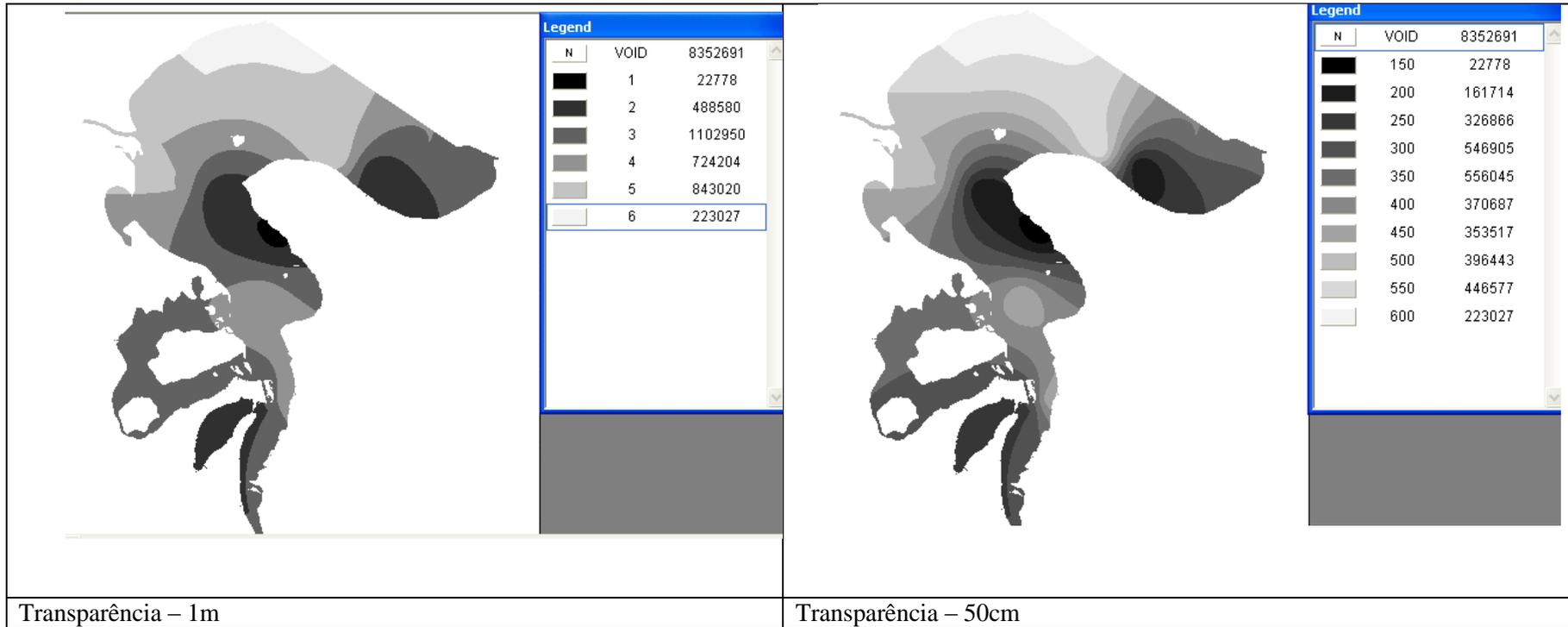


Salinidade

MS

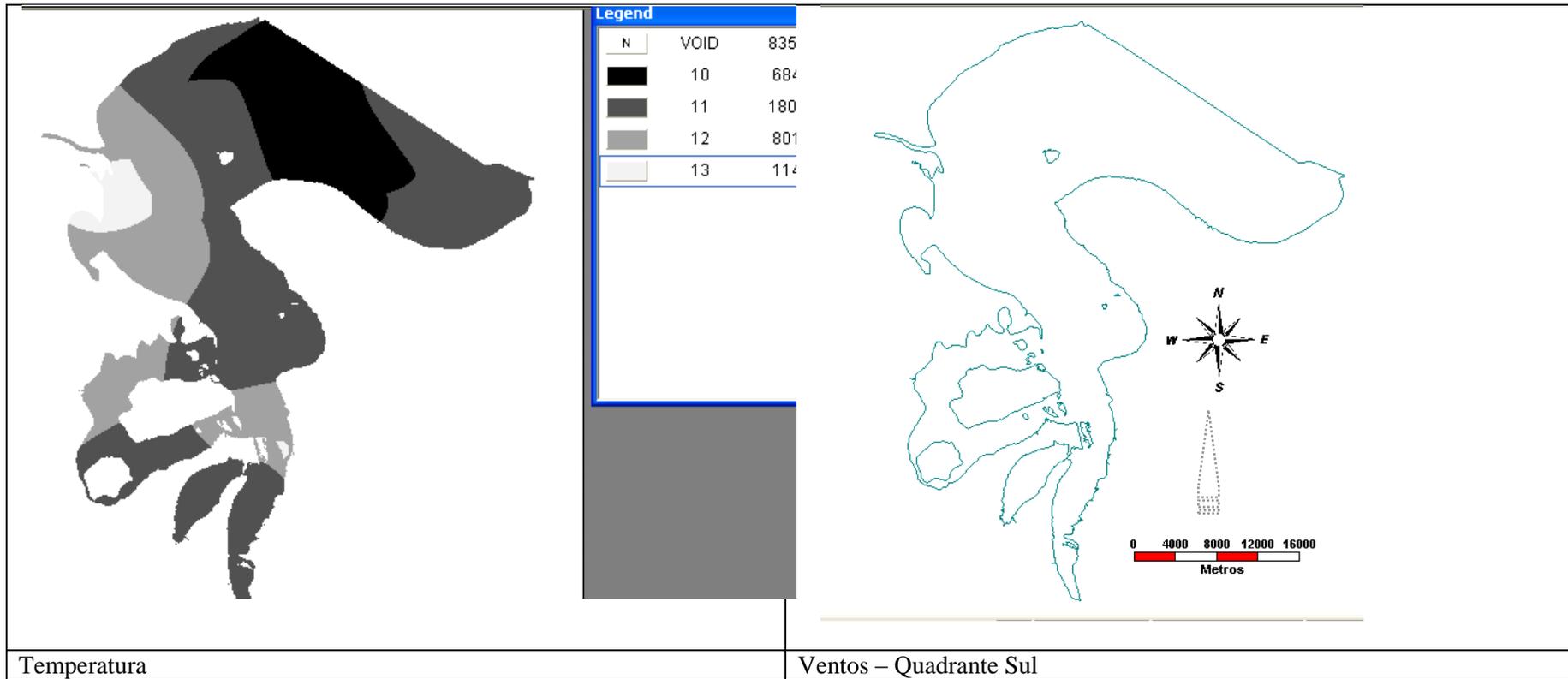




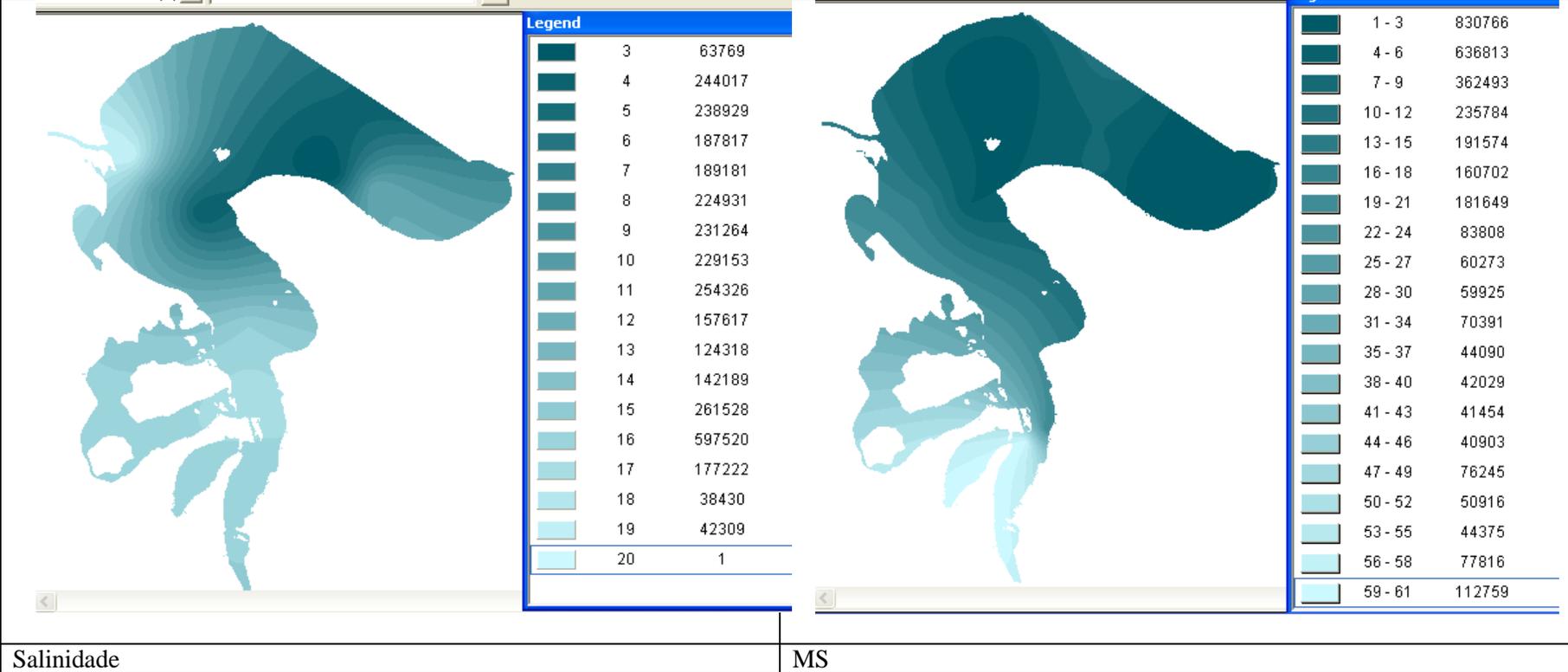


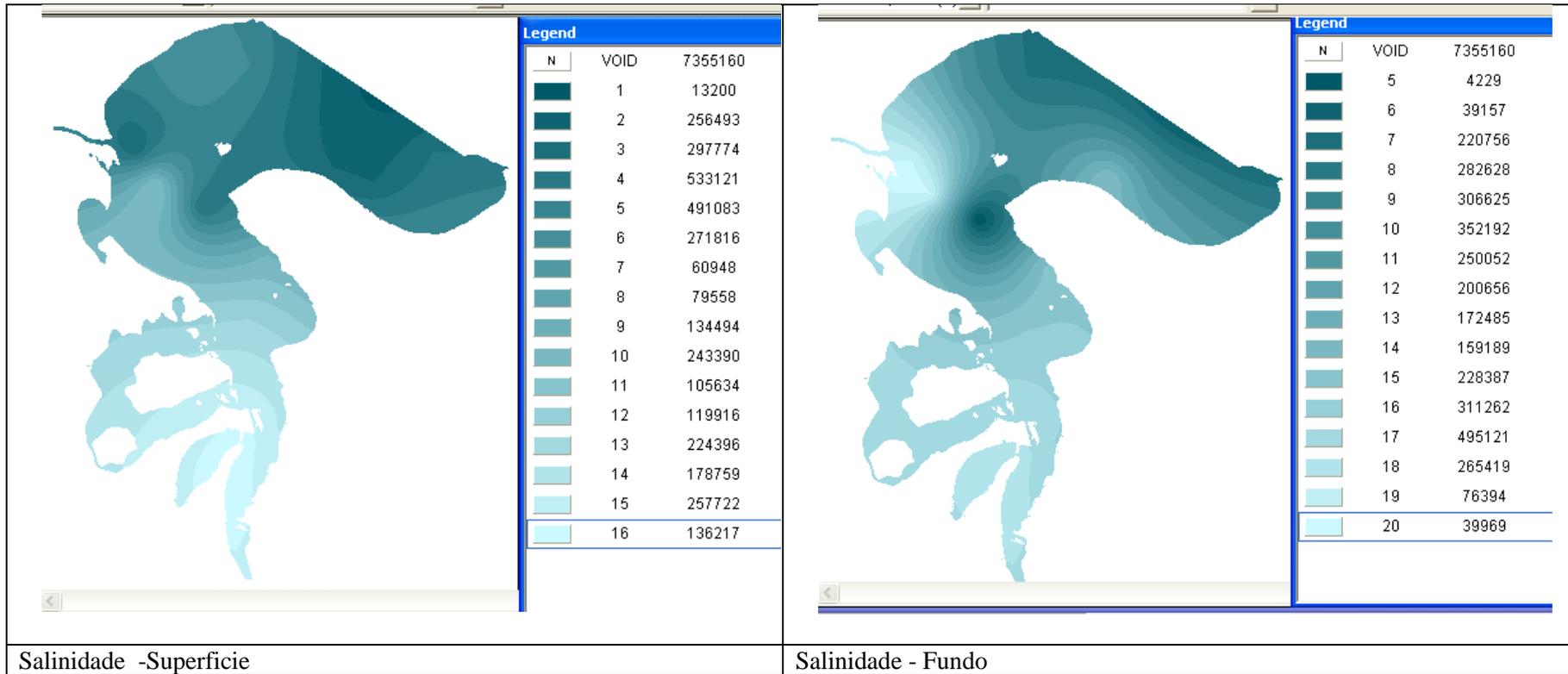
Transparência – 1m

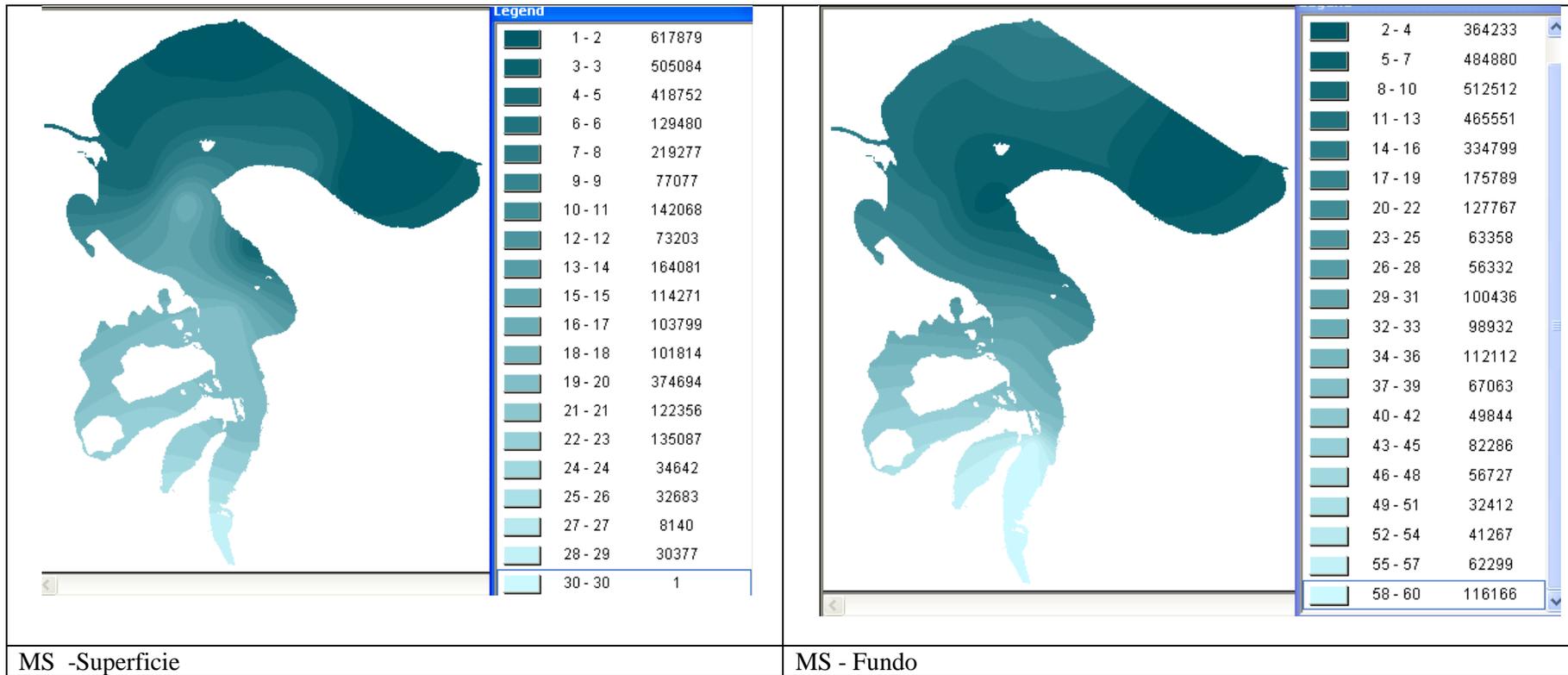
Transparência – 50cm

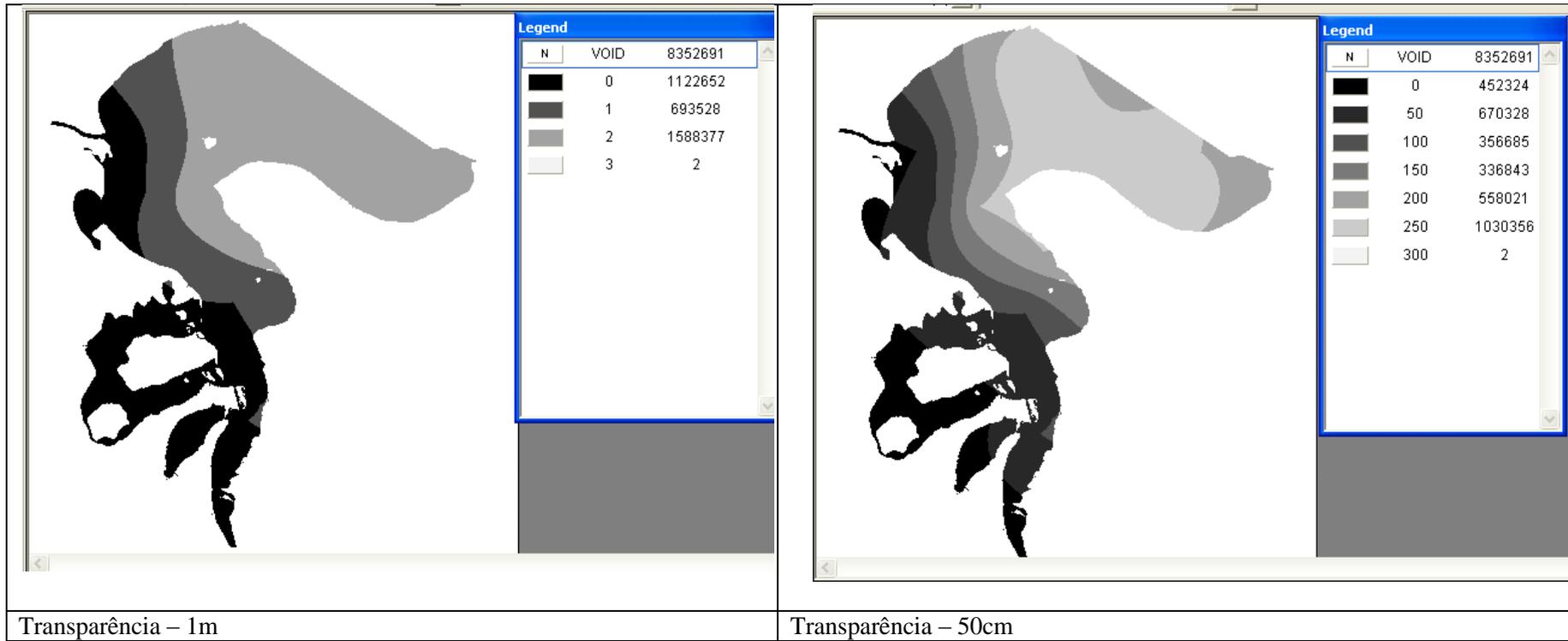


Resultados da análise geoestatística de Krigagem para os dados dos Cruzeiros da Fase I - Inverno.



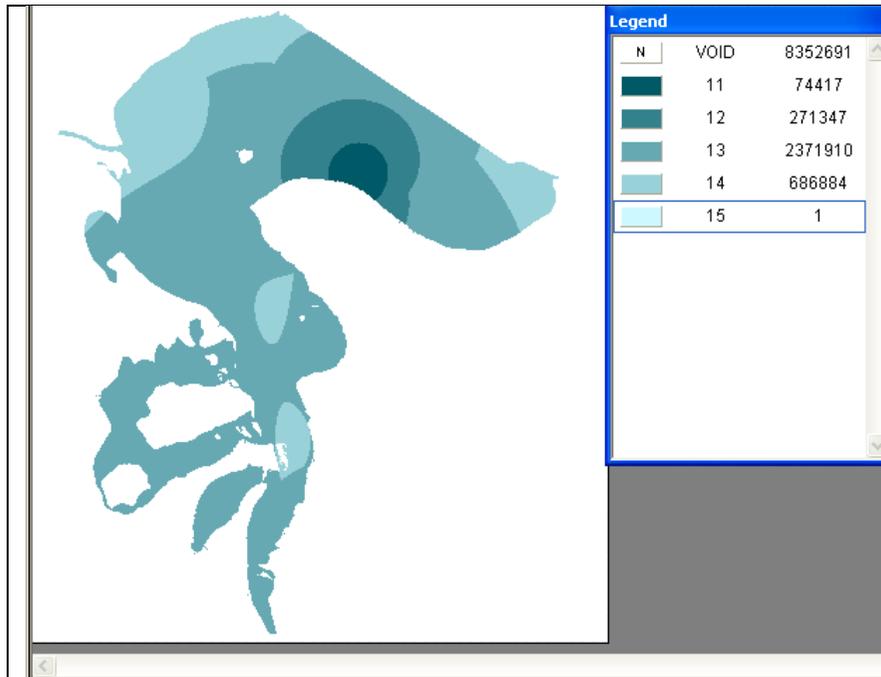




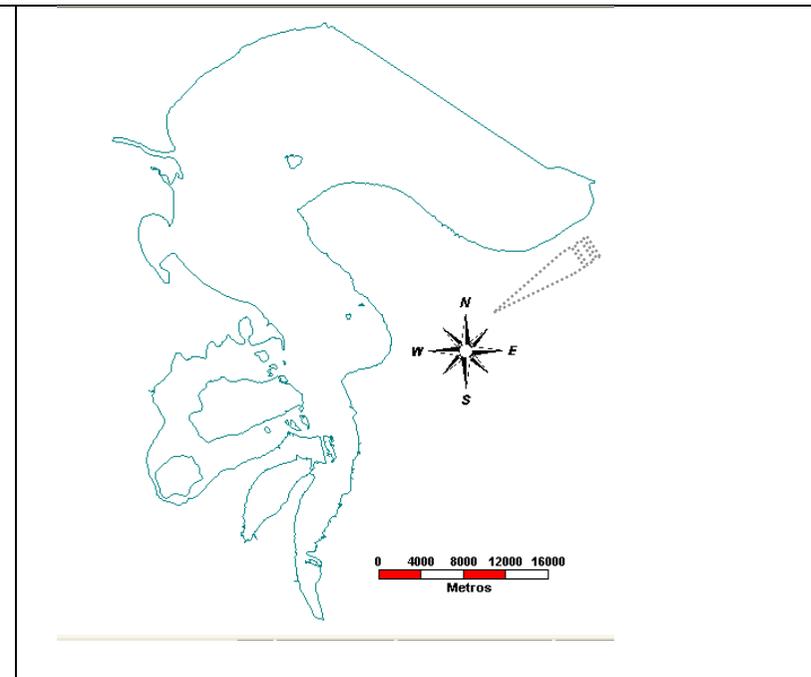


Transparência – 1m

Transparência – 50cm

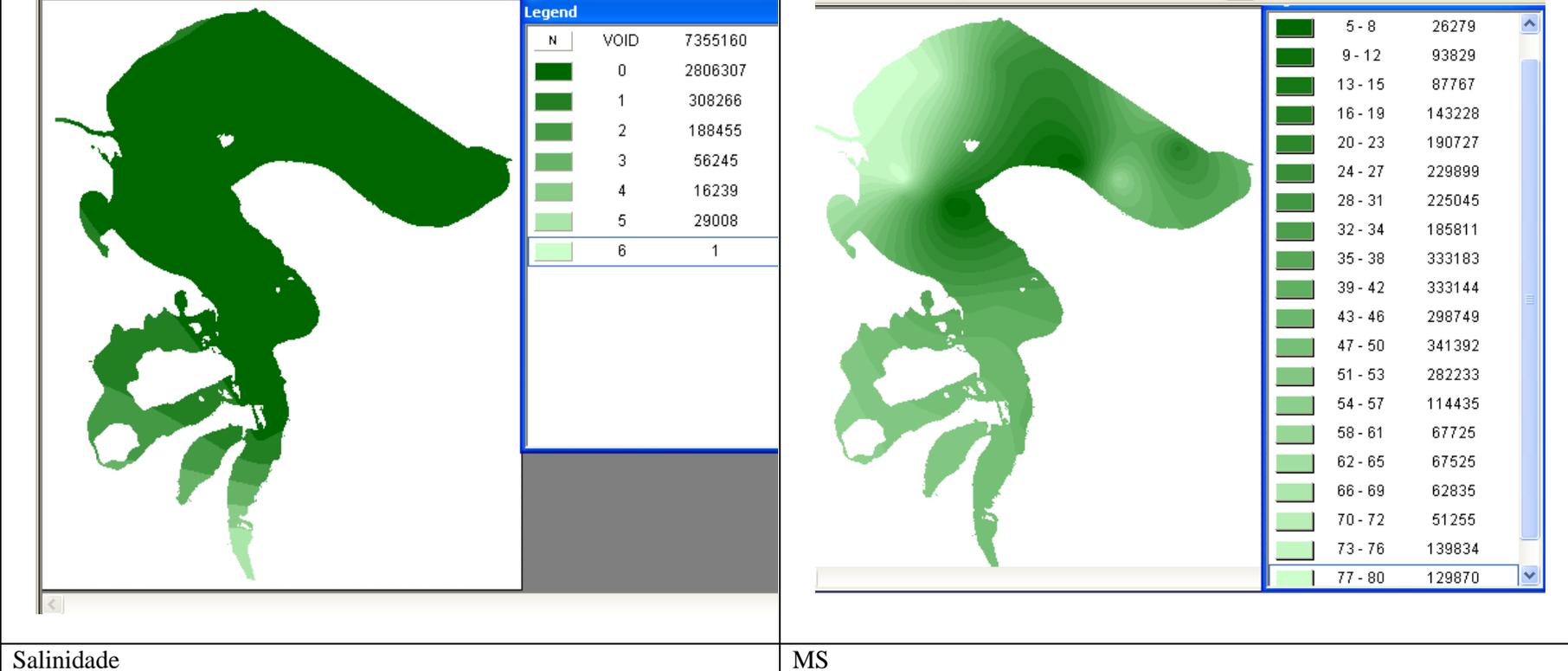


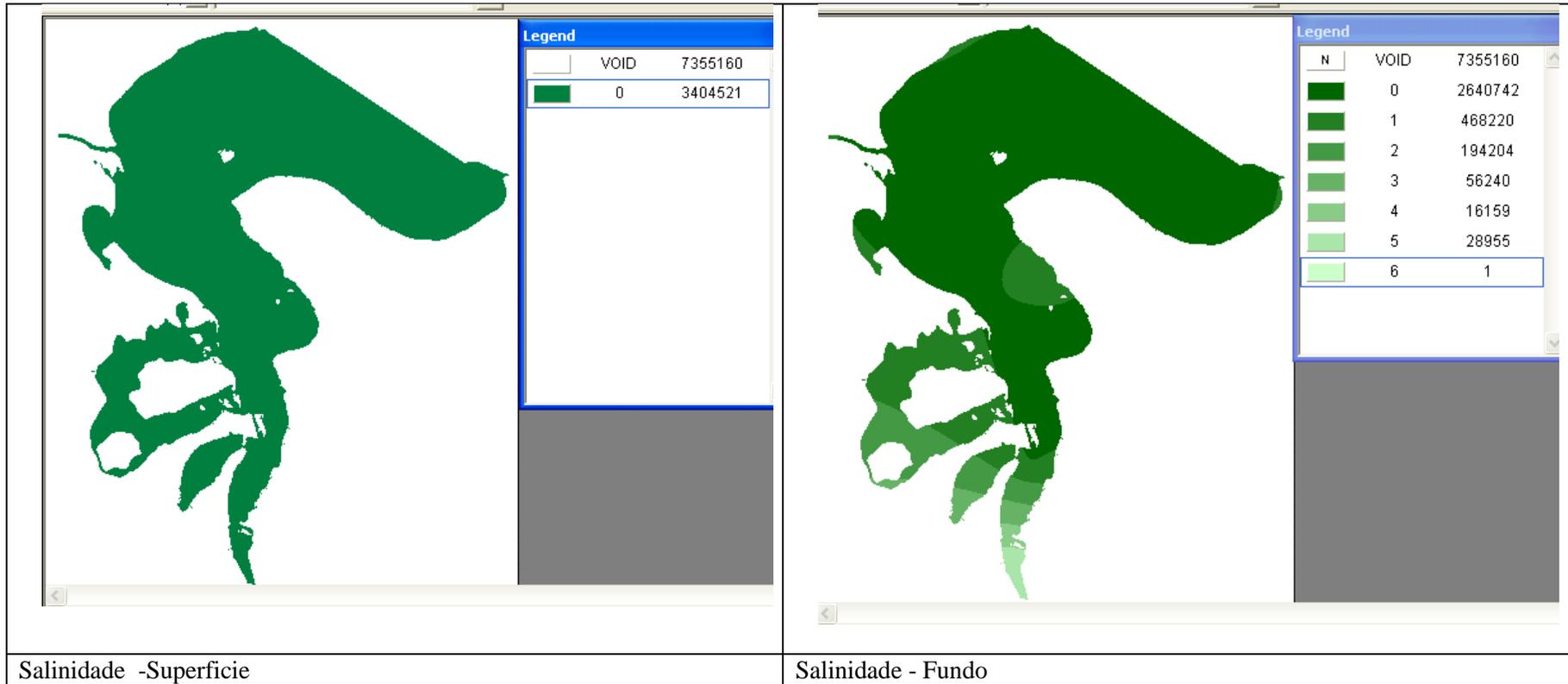
Temperatura

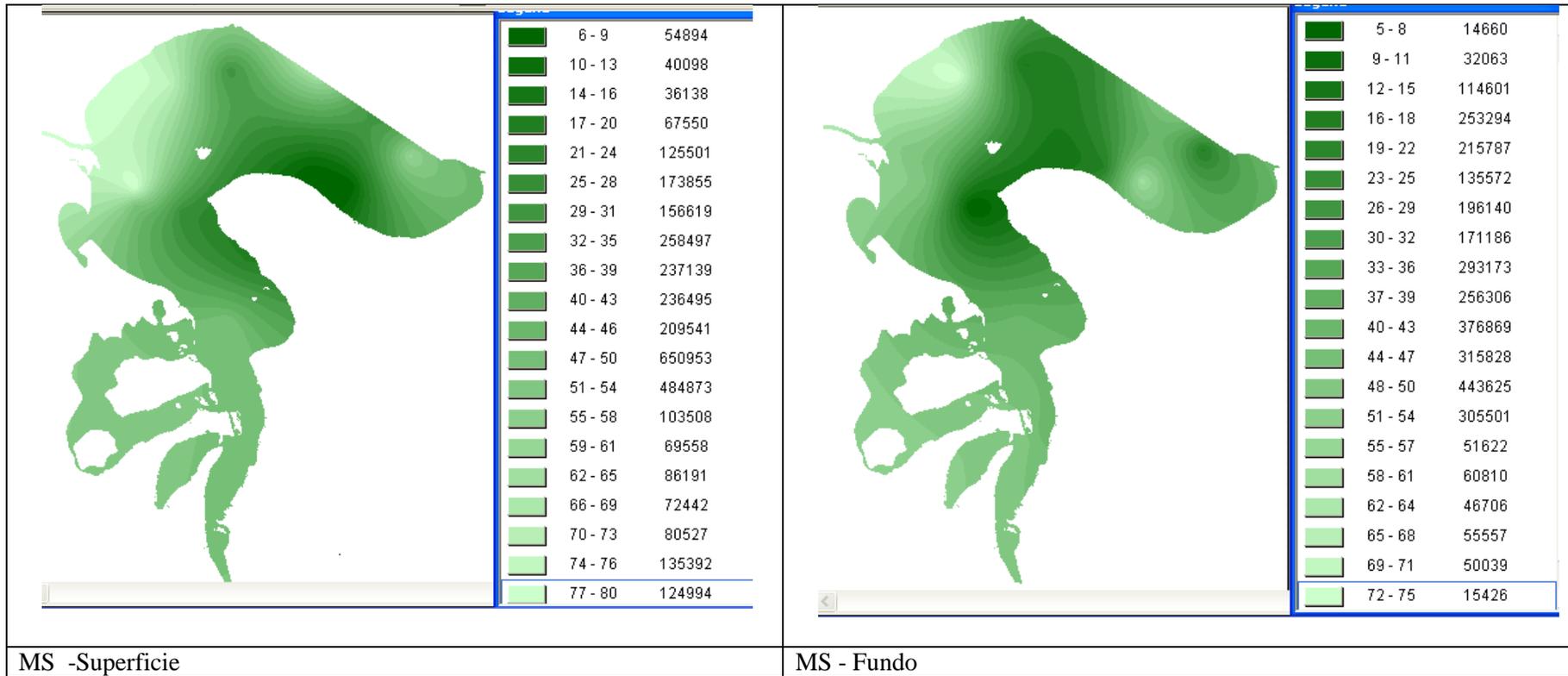


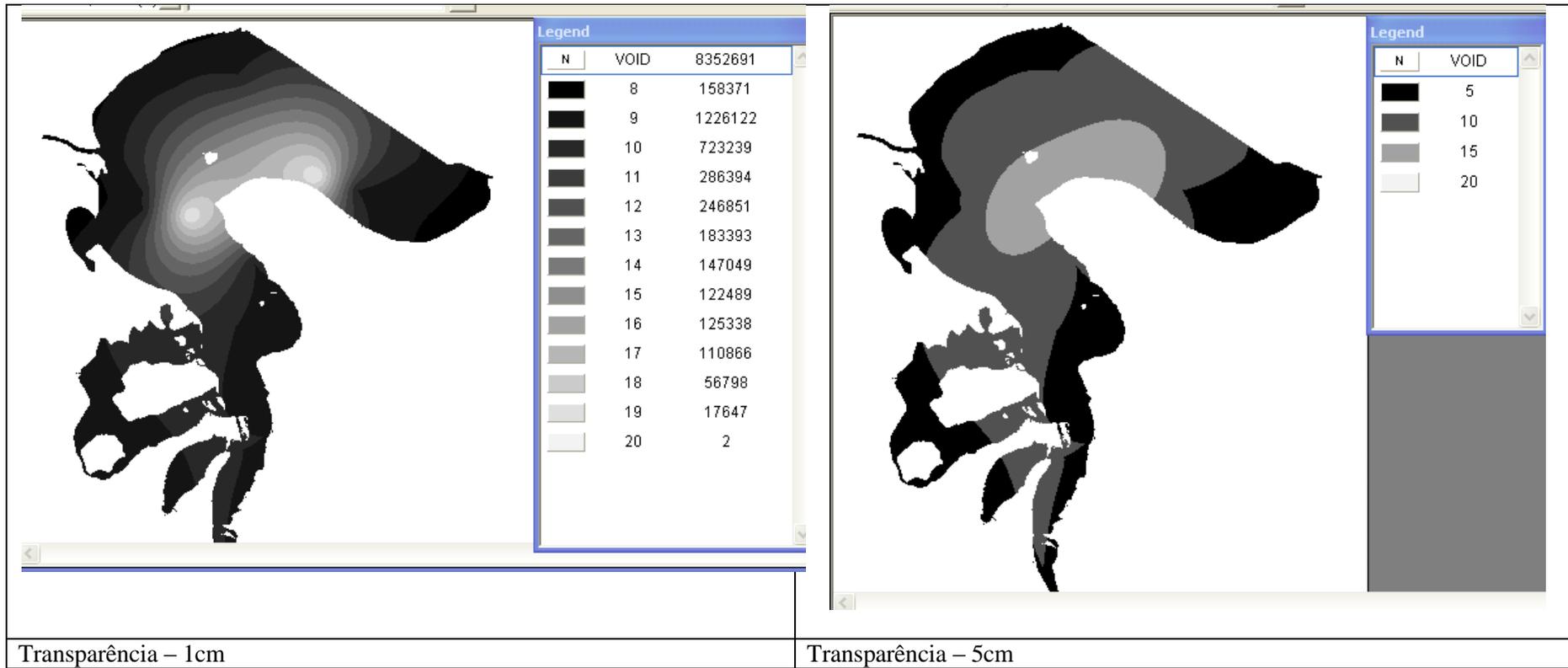
Ventos – Nordeste

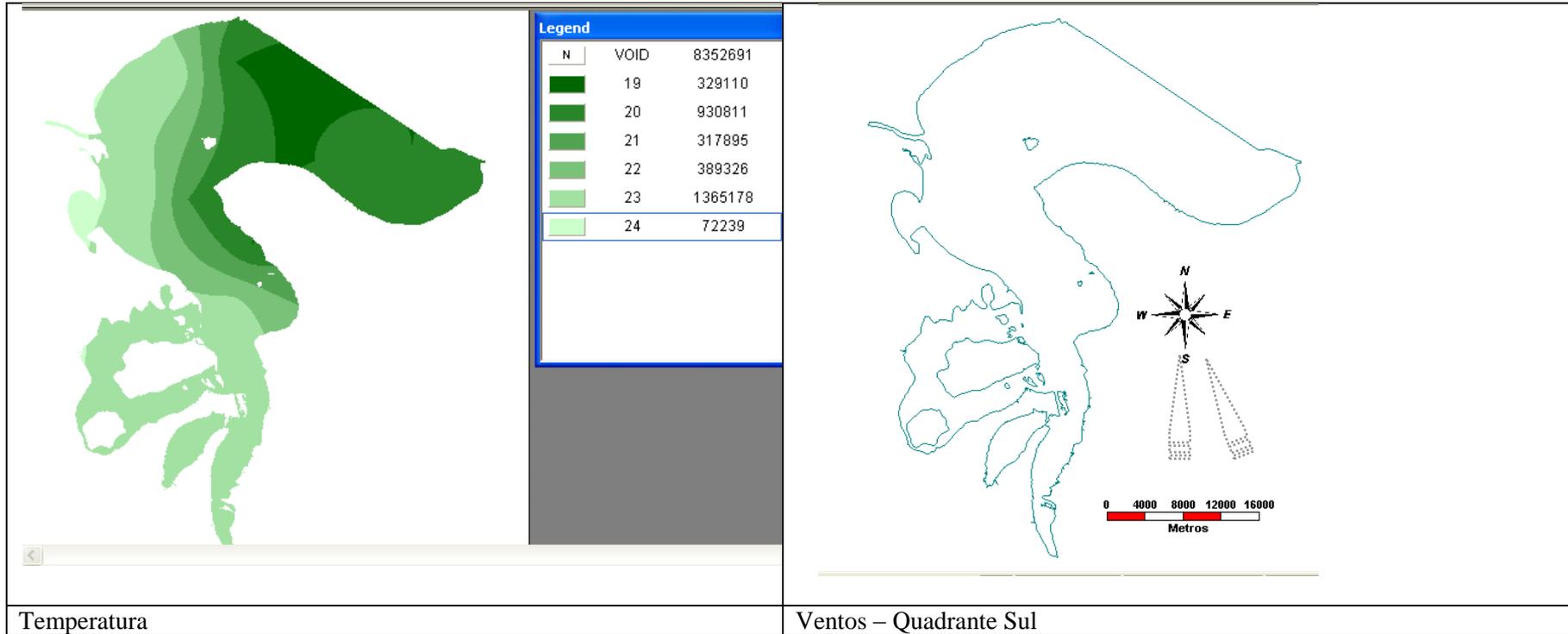
Resultados da análise geoestatística de Krigagem para os dados dos Cruzeiros da Fase I - Primavera.



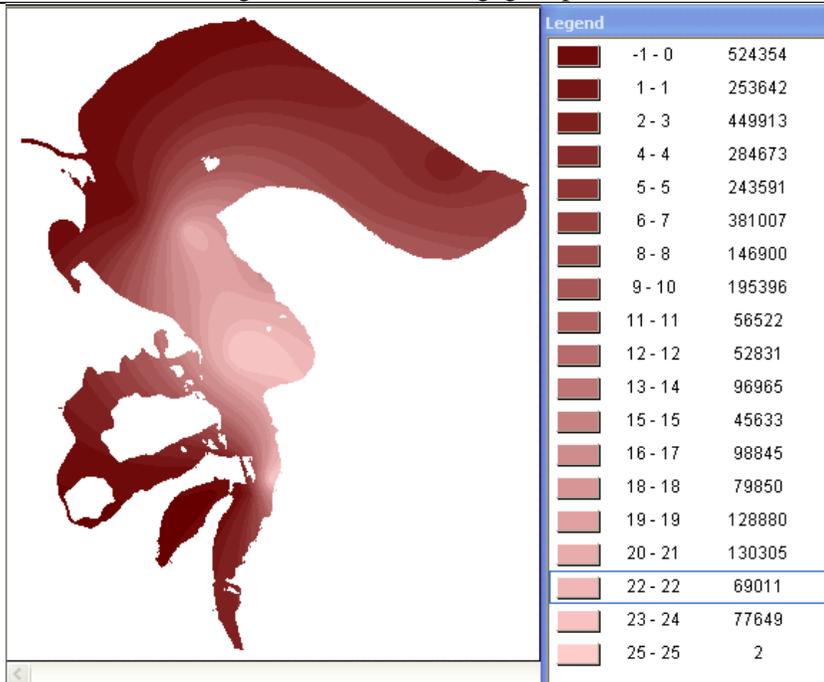




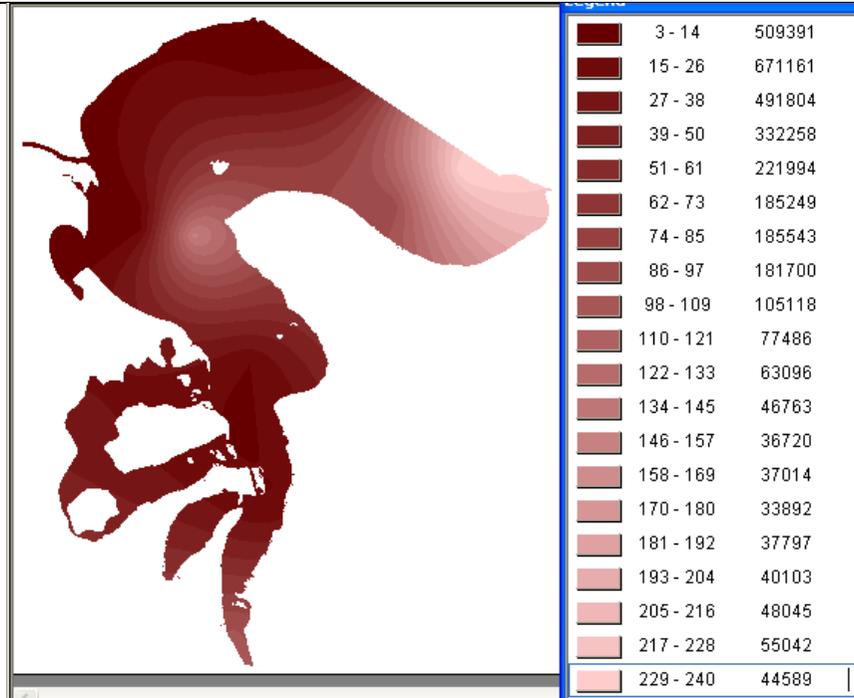




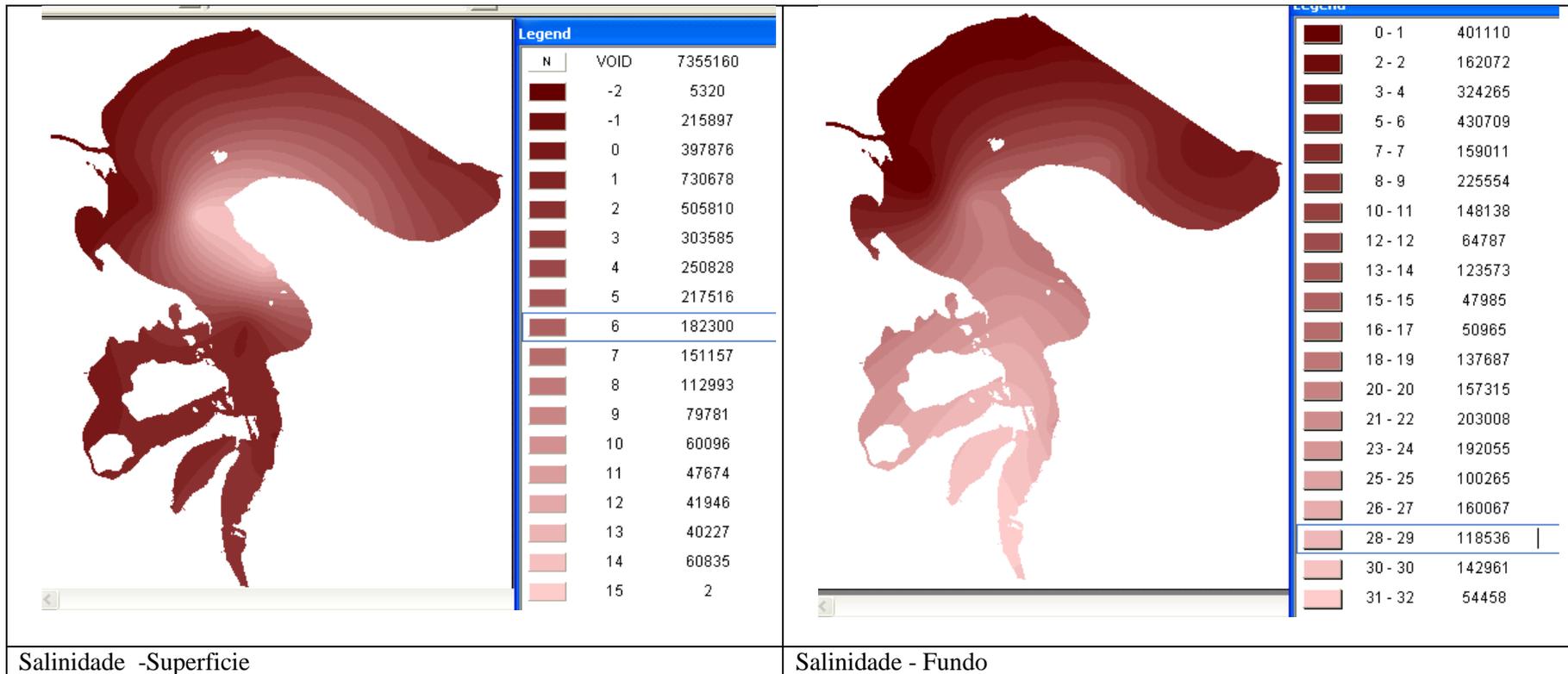
Resultados da análise geoestatística de Krigagem para os dados dos Cruzeiros da Fase I - Verão.

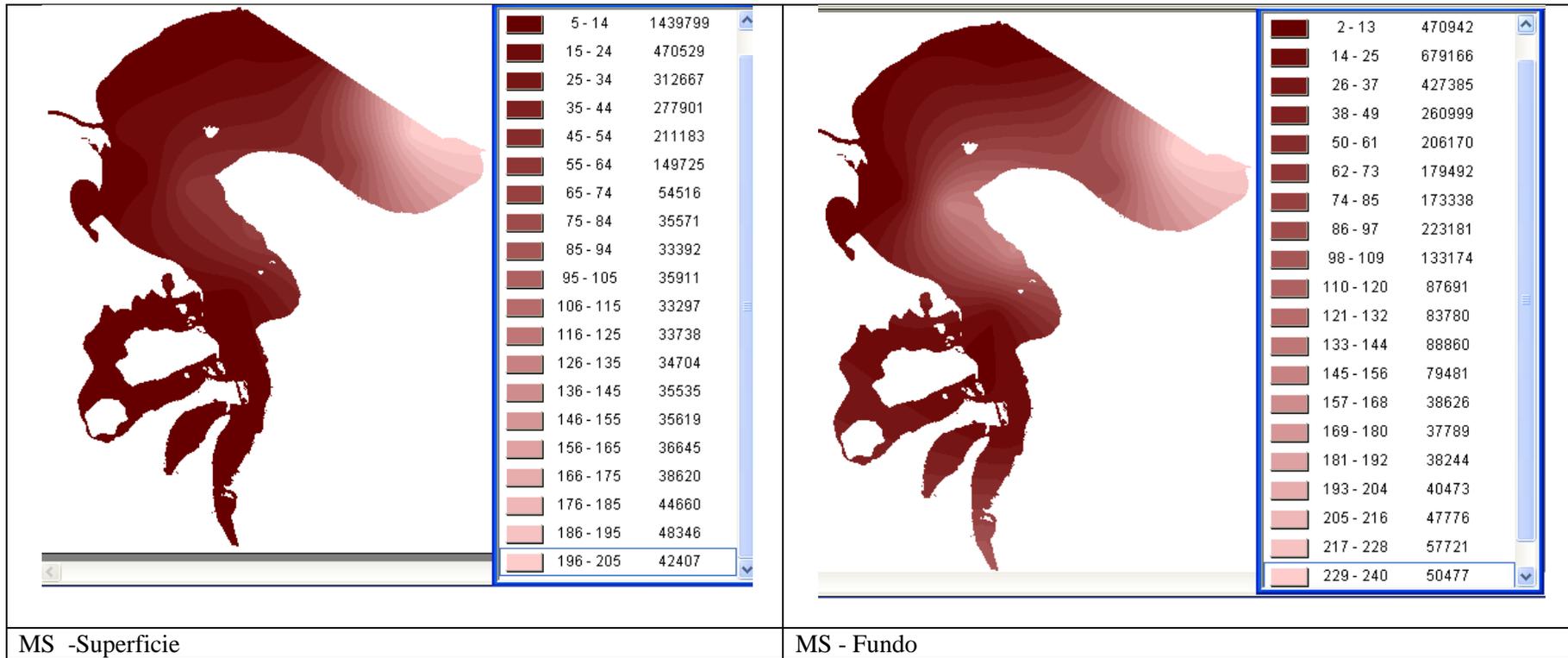


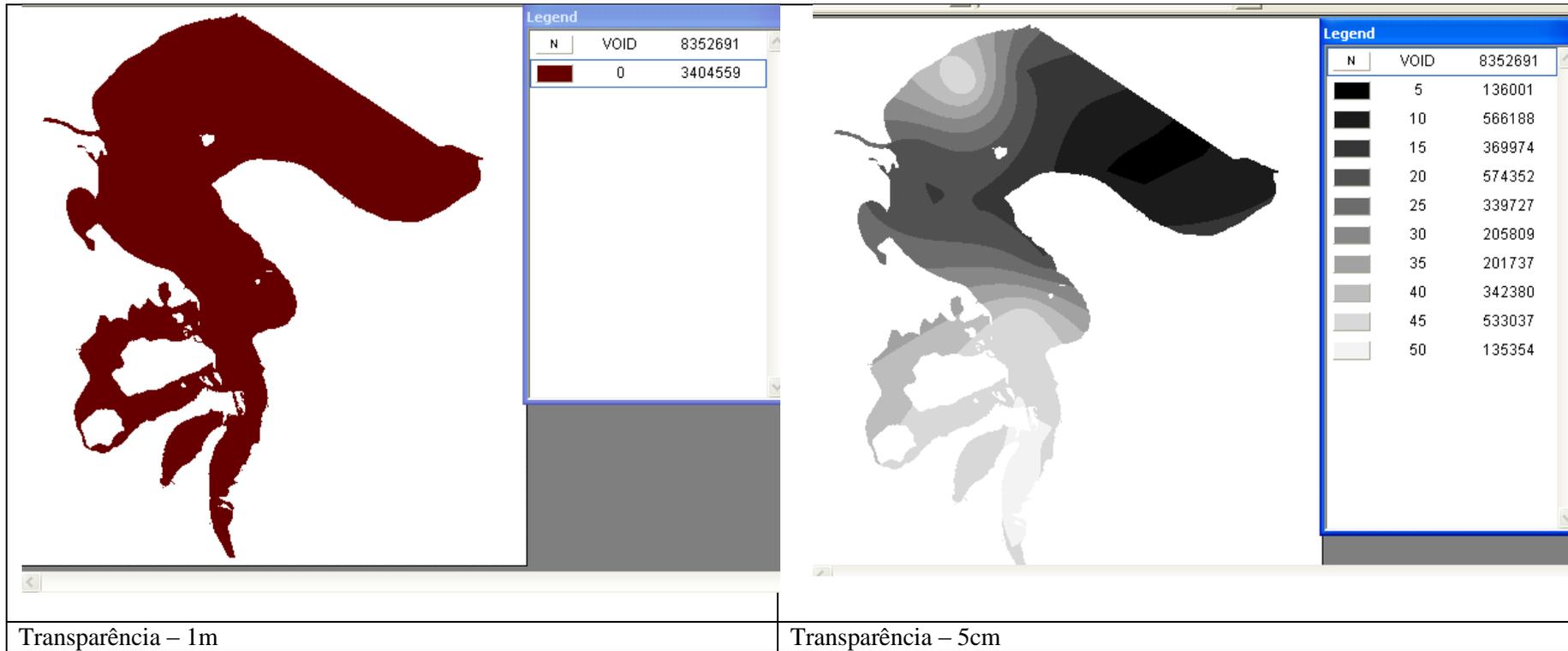
Salinidade

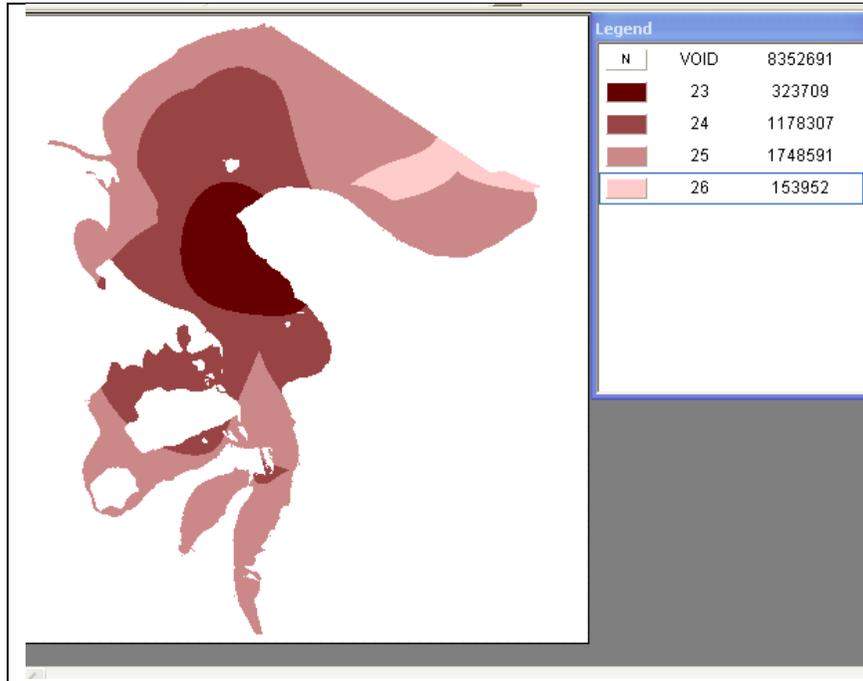


MS

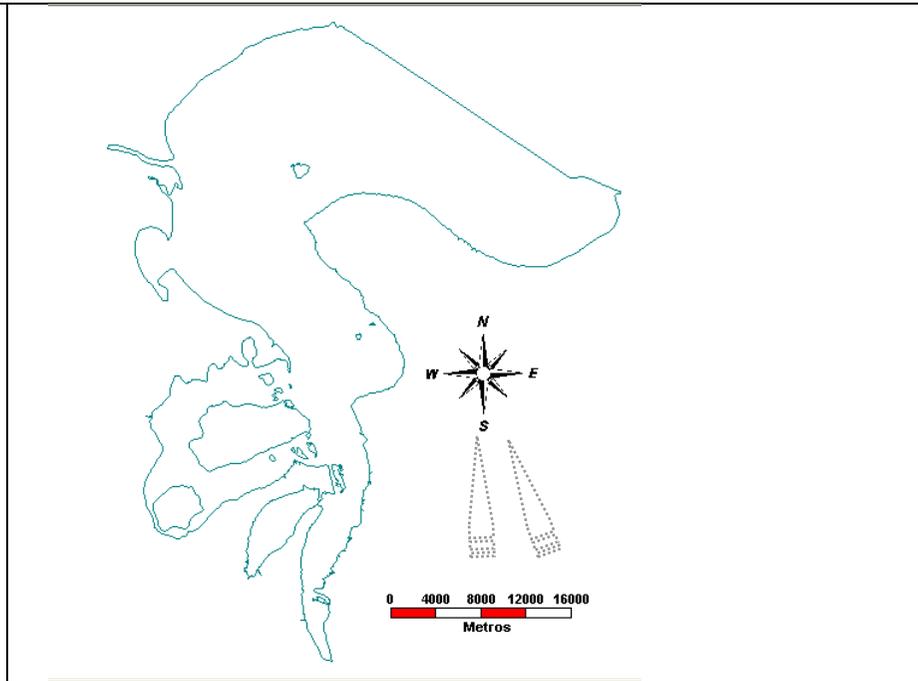








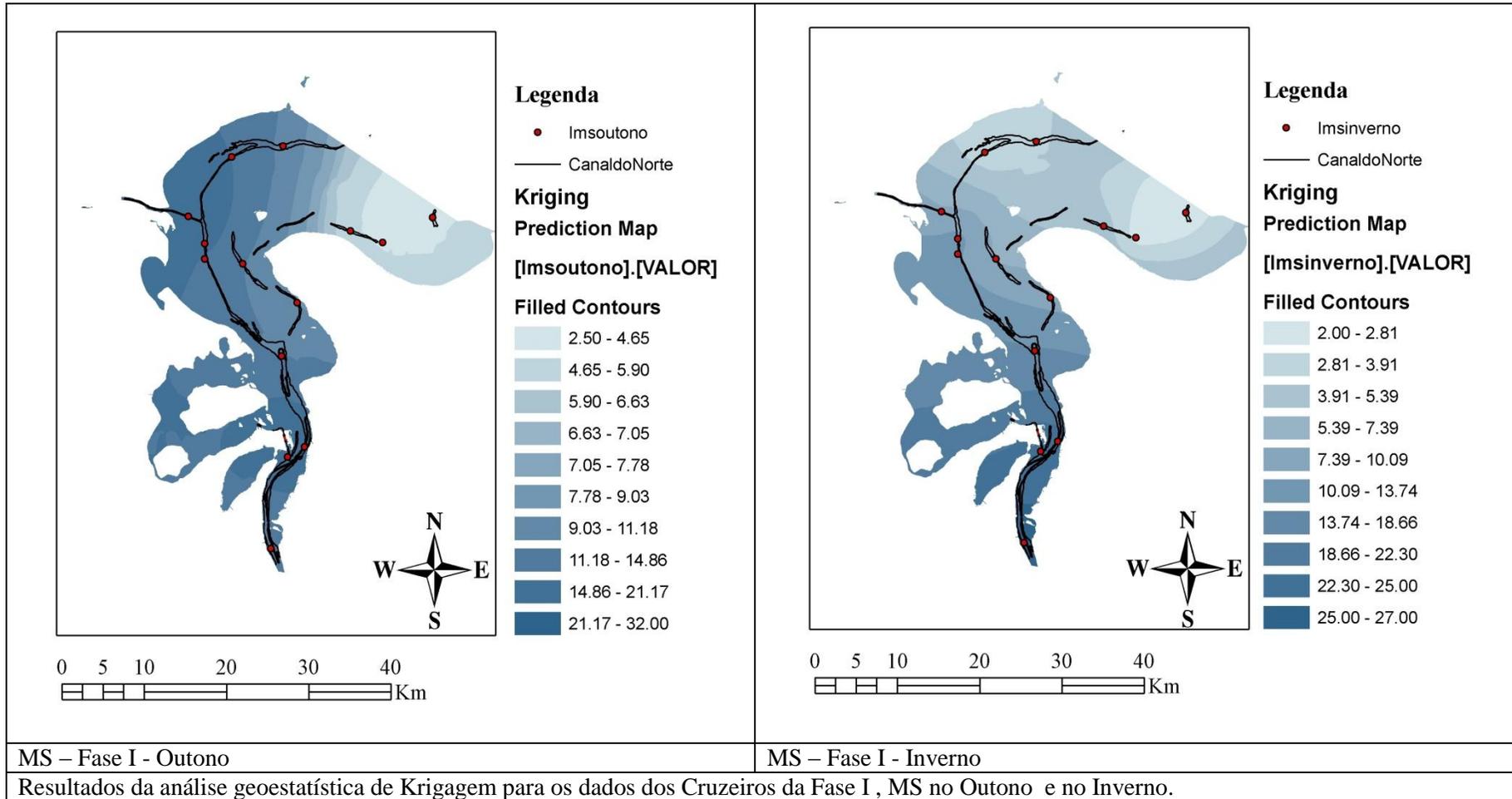
Temperatura

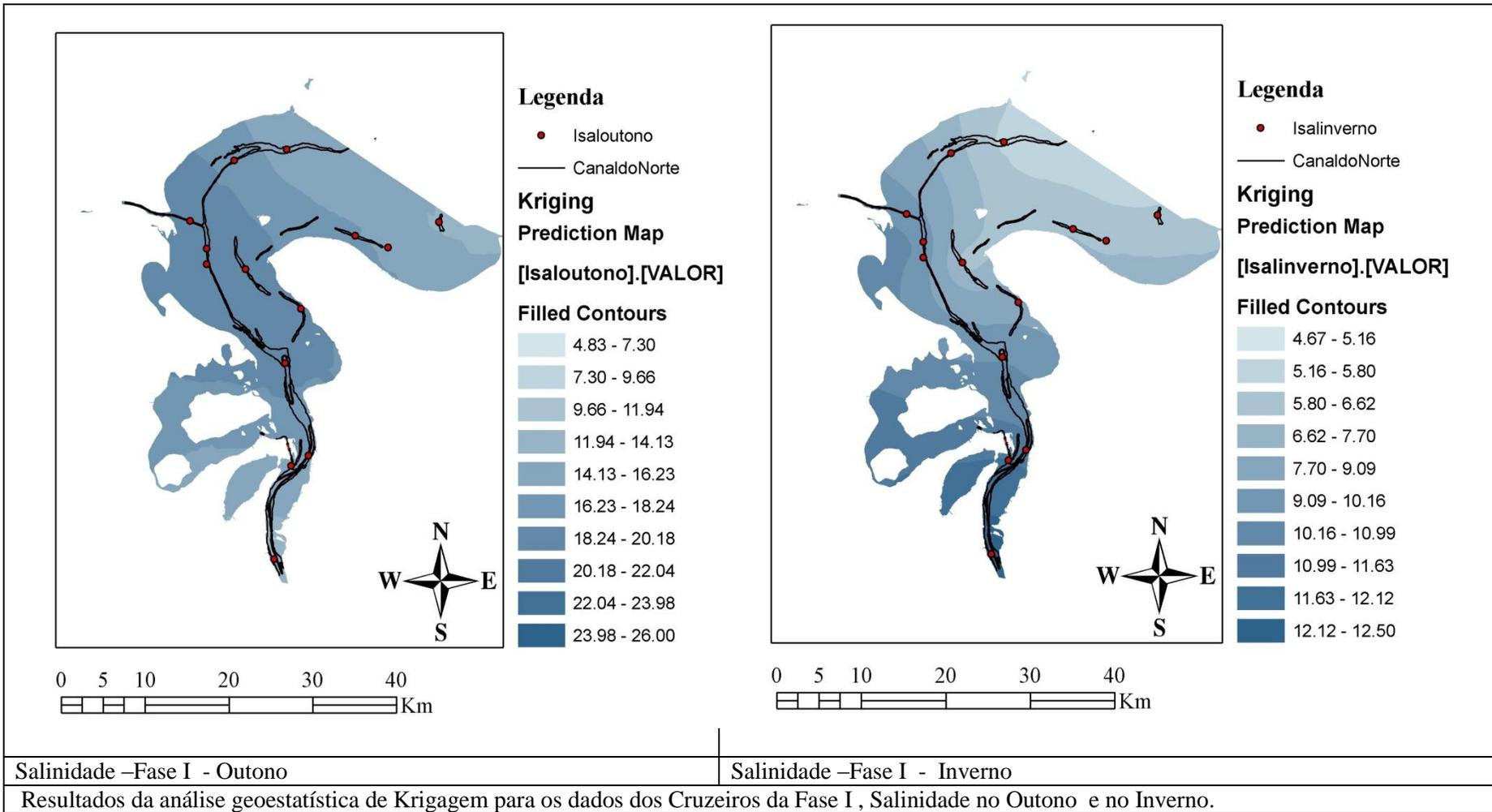


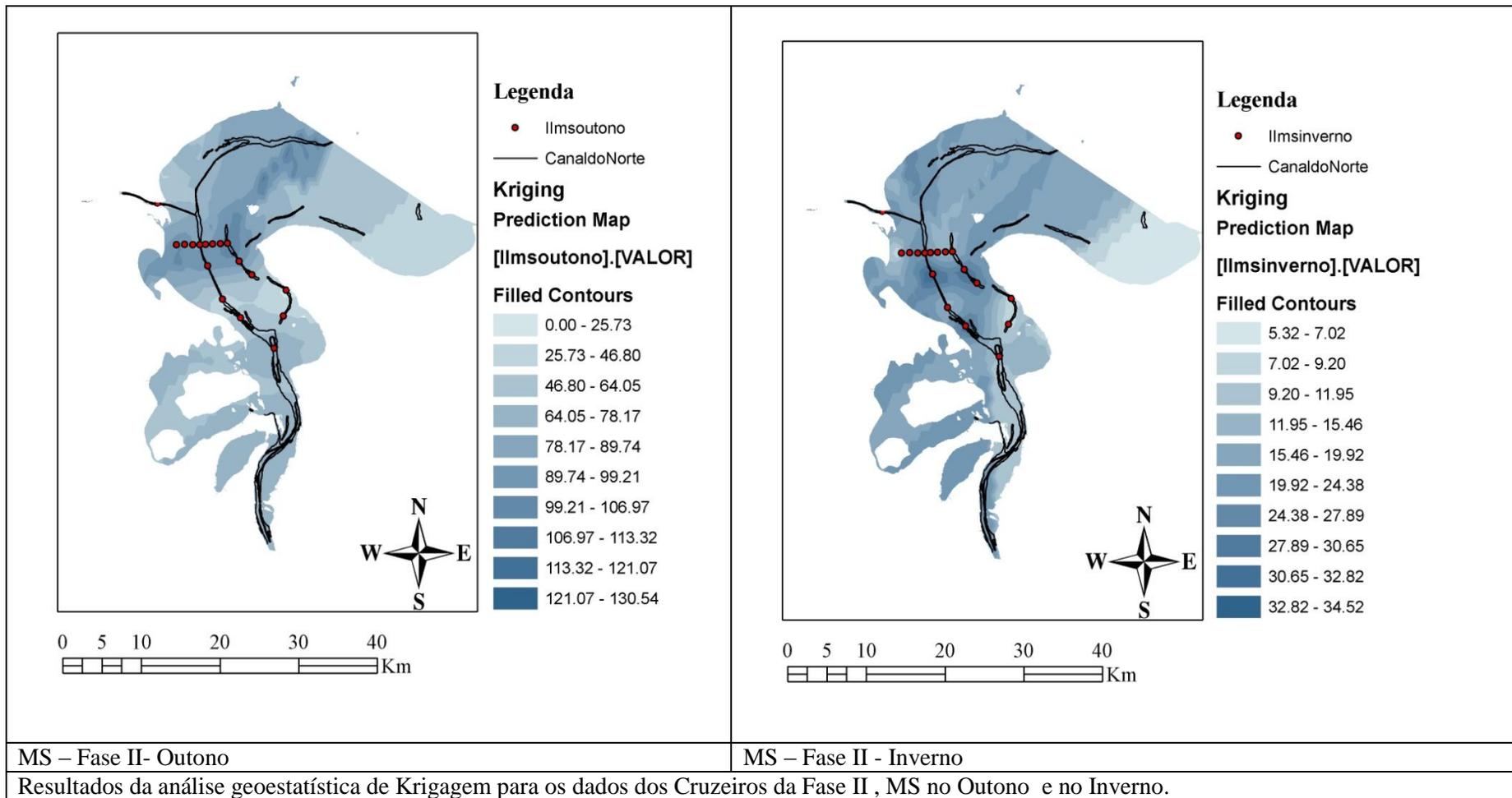
Ventos – Quadrante Sul

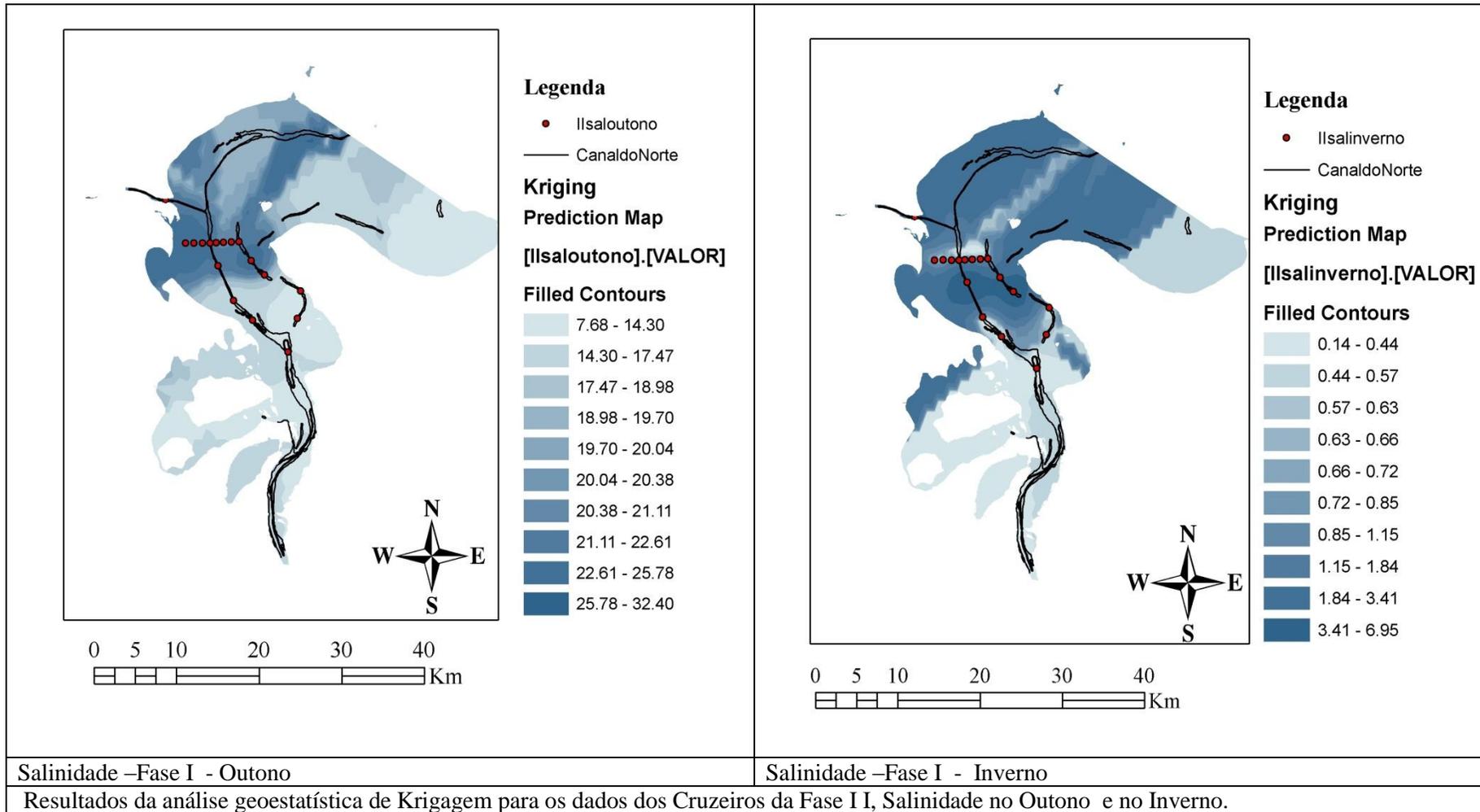
ANEXO III

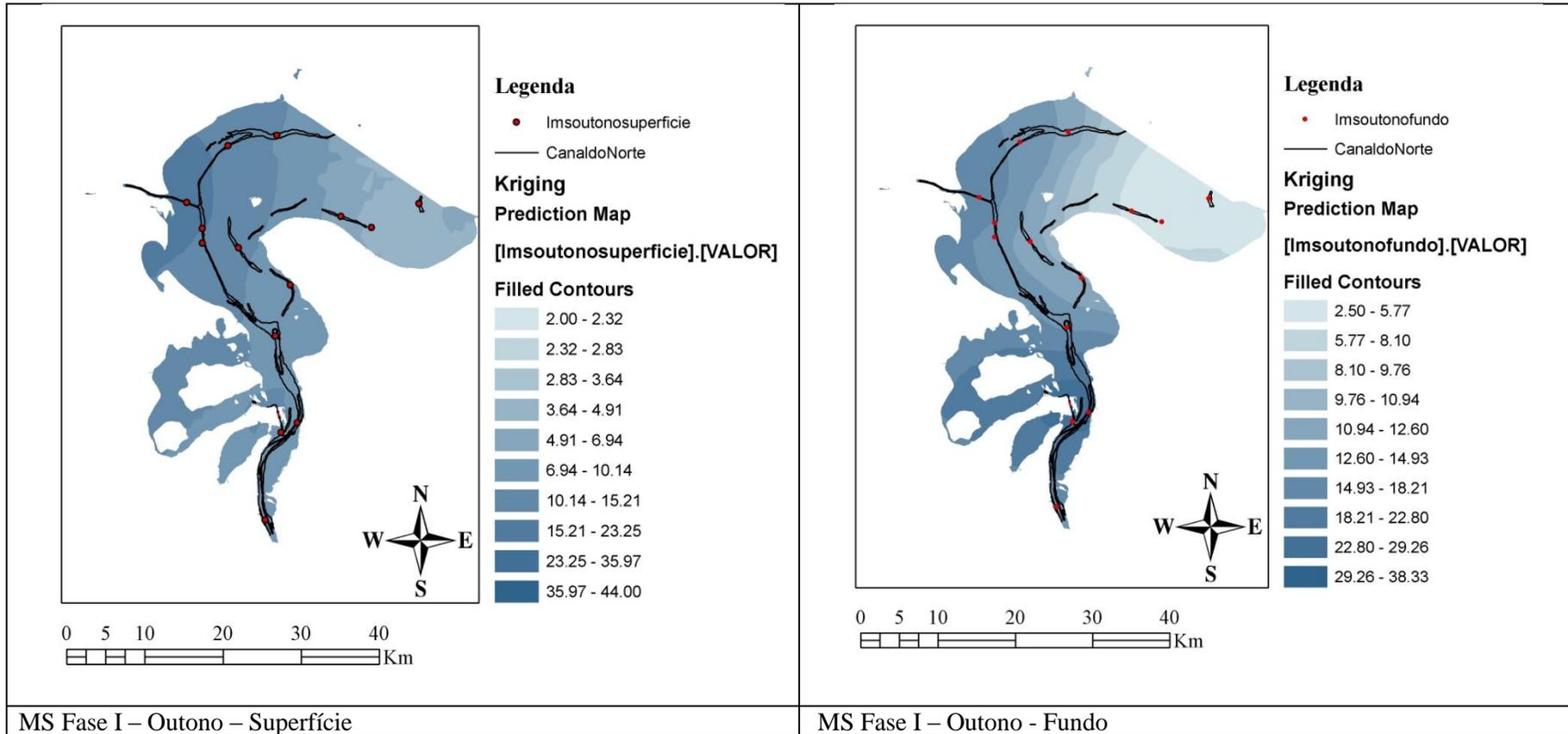
**Krigagens com os dados dos Cruzeiros MS Fases I e II, utilizando o software
ArcView 9.3.**

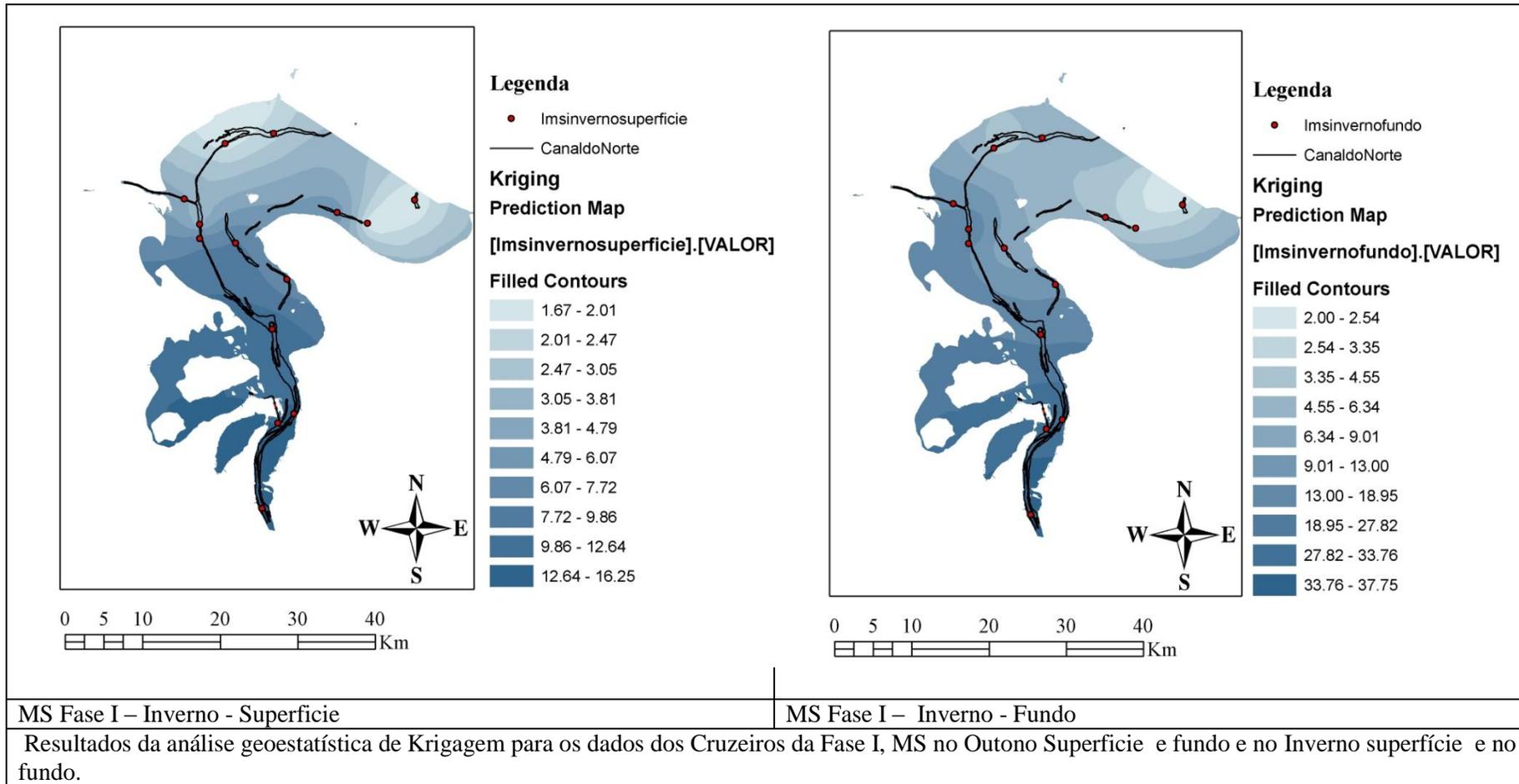


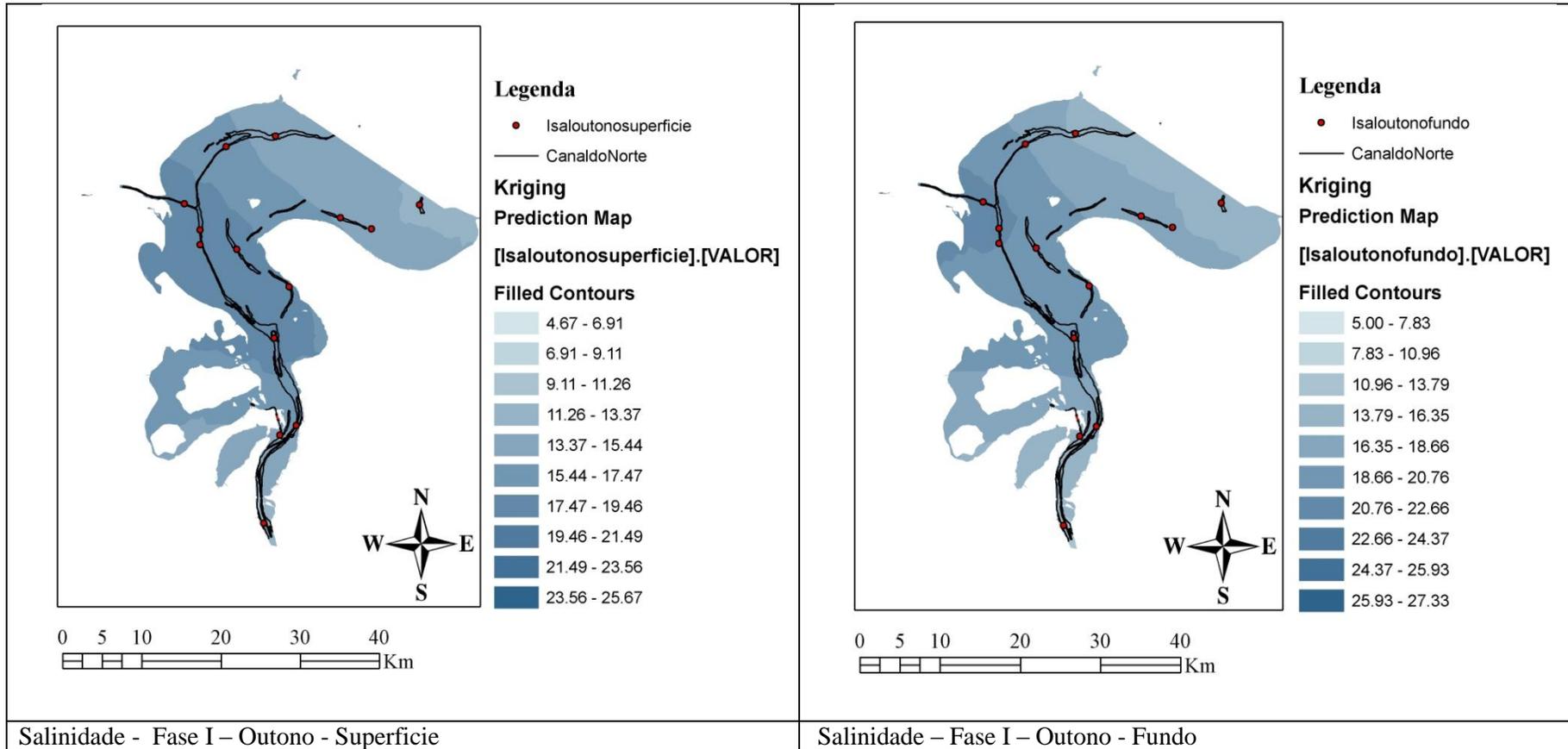


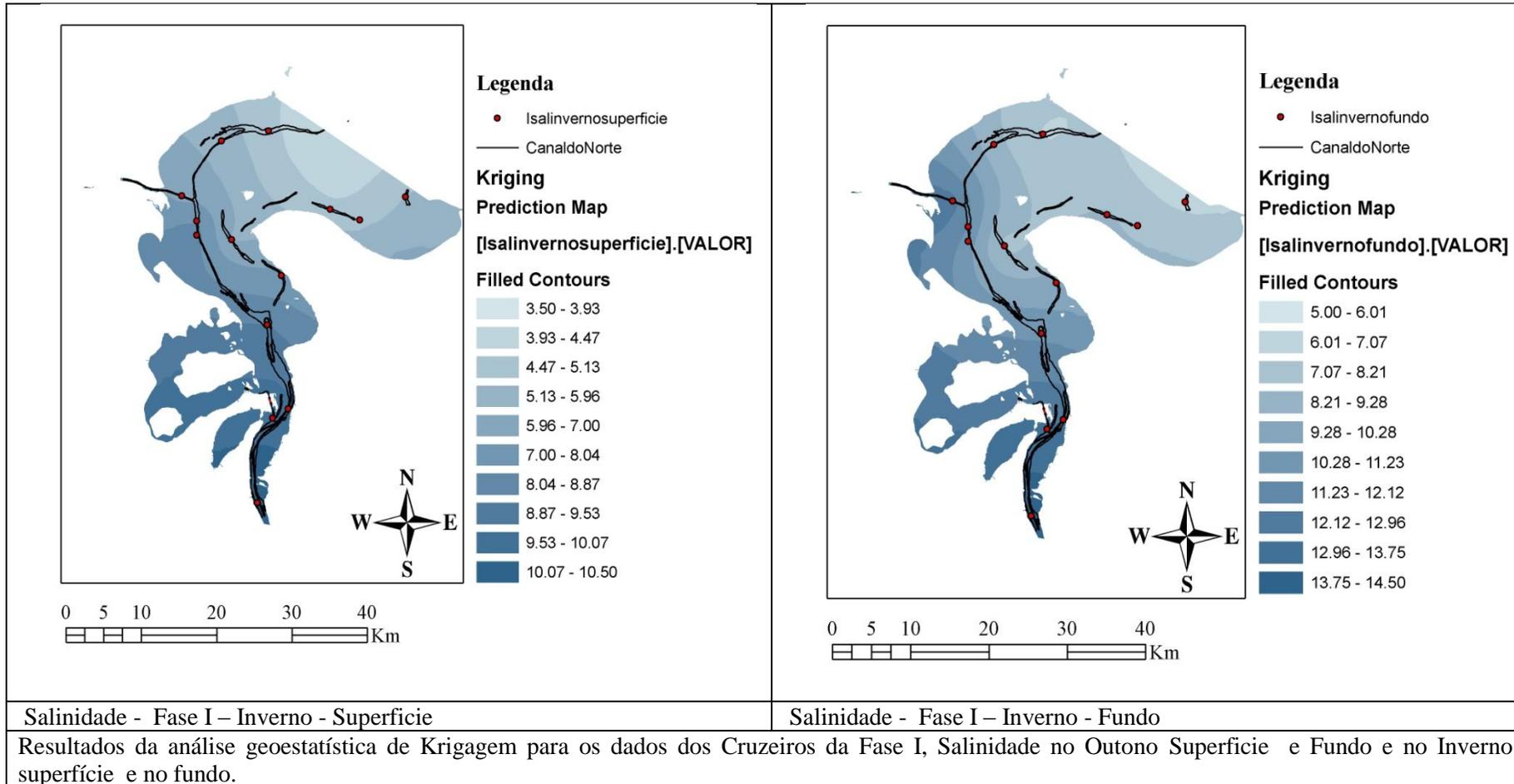


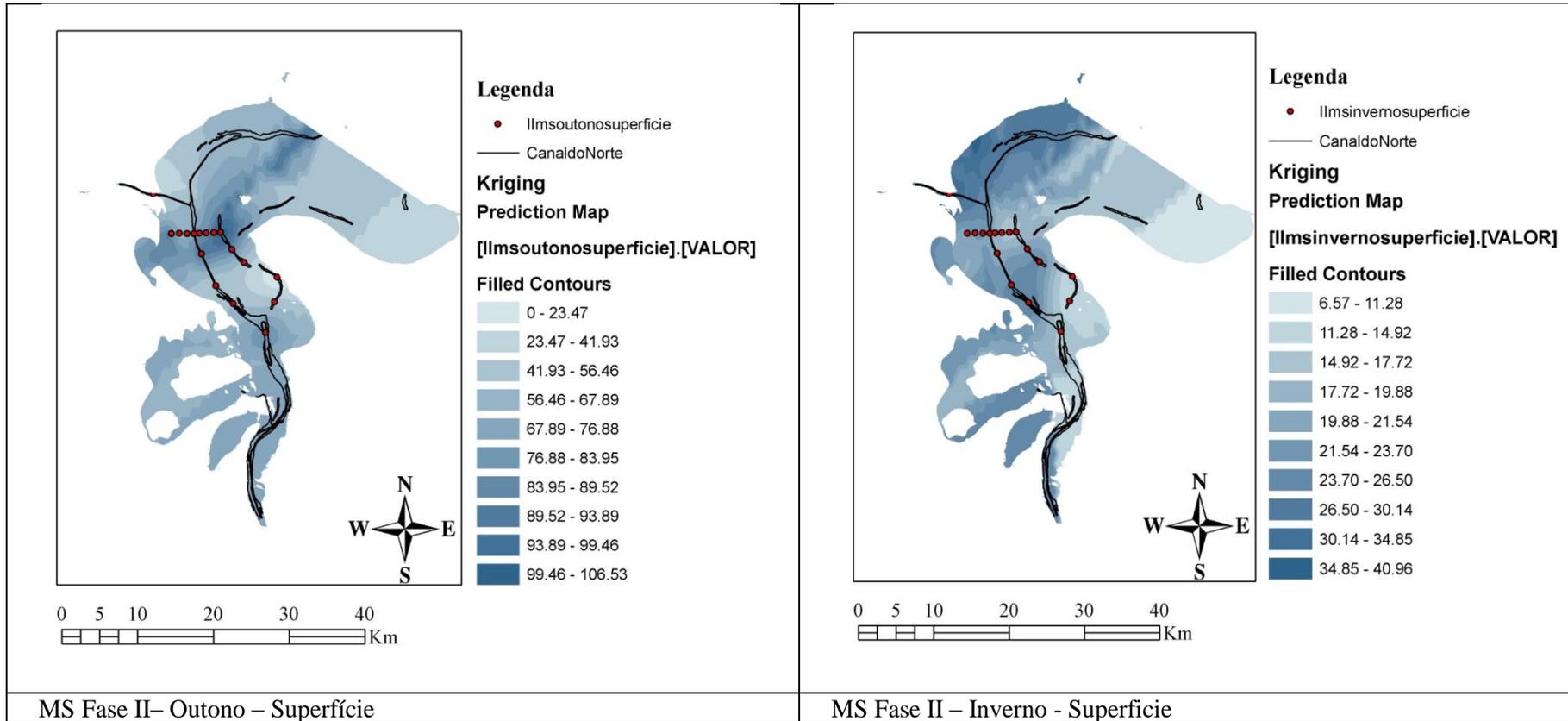


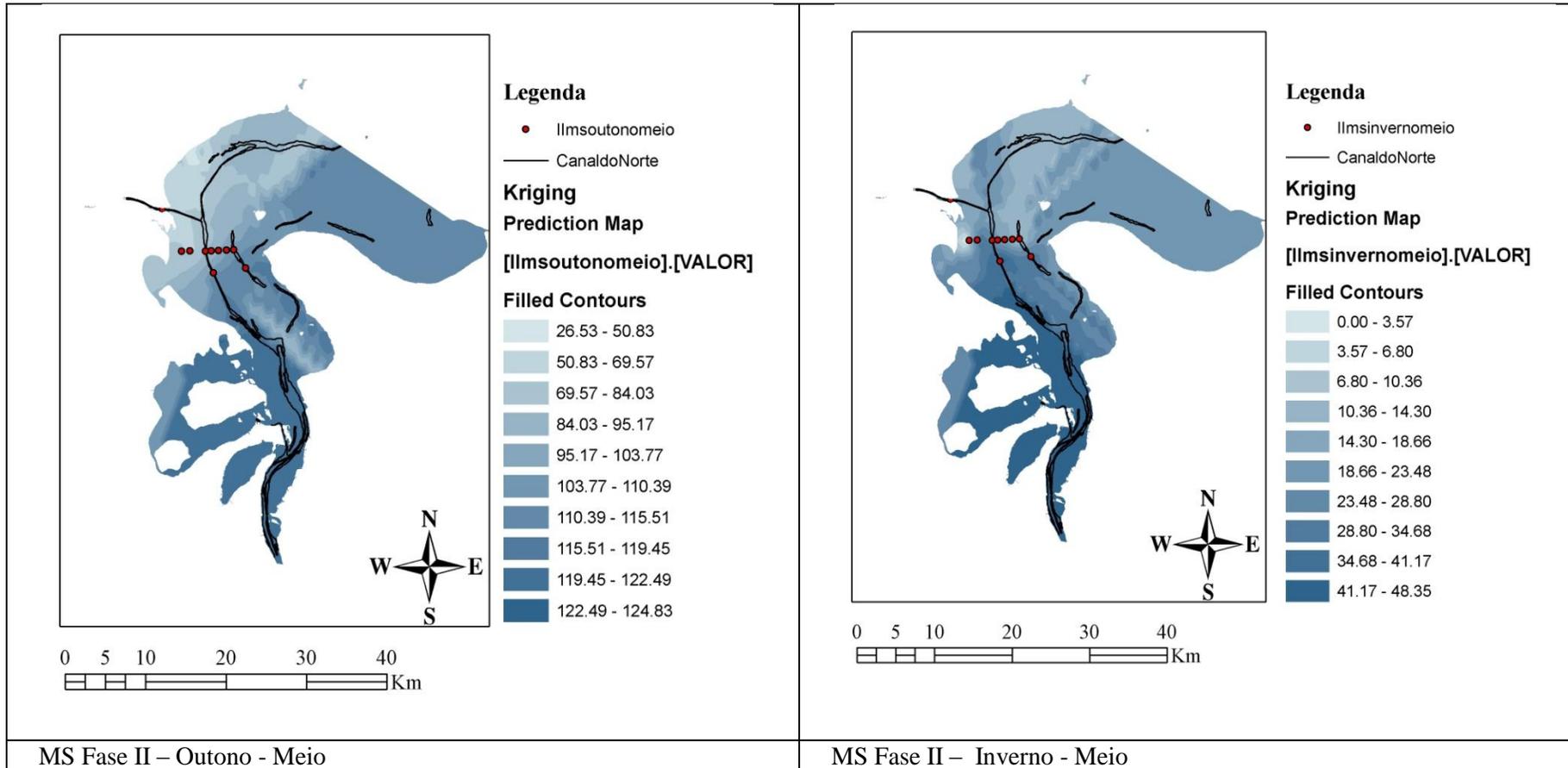


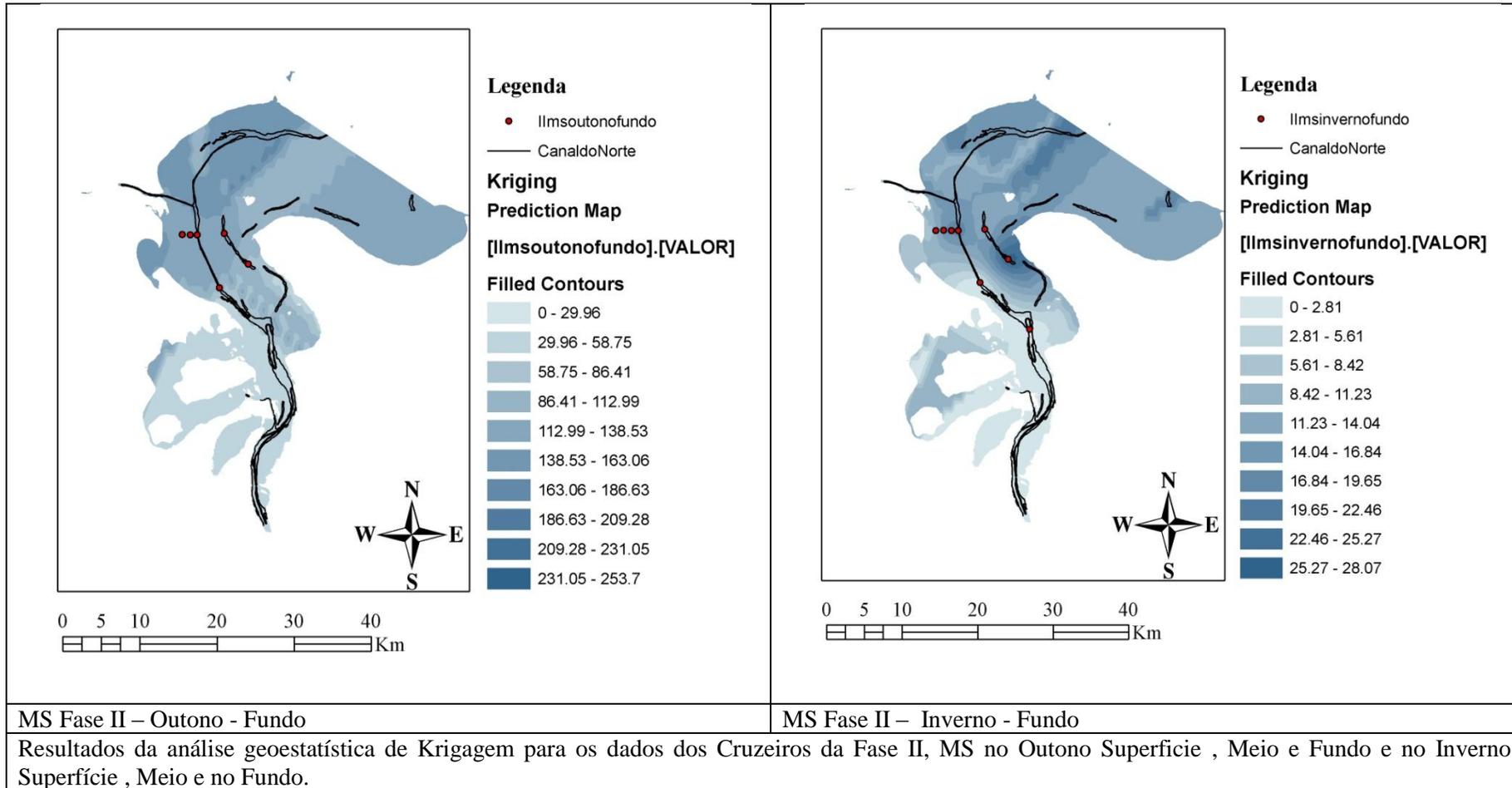


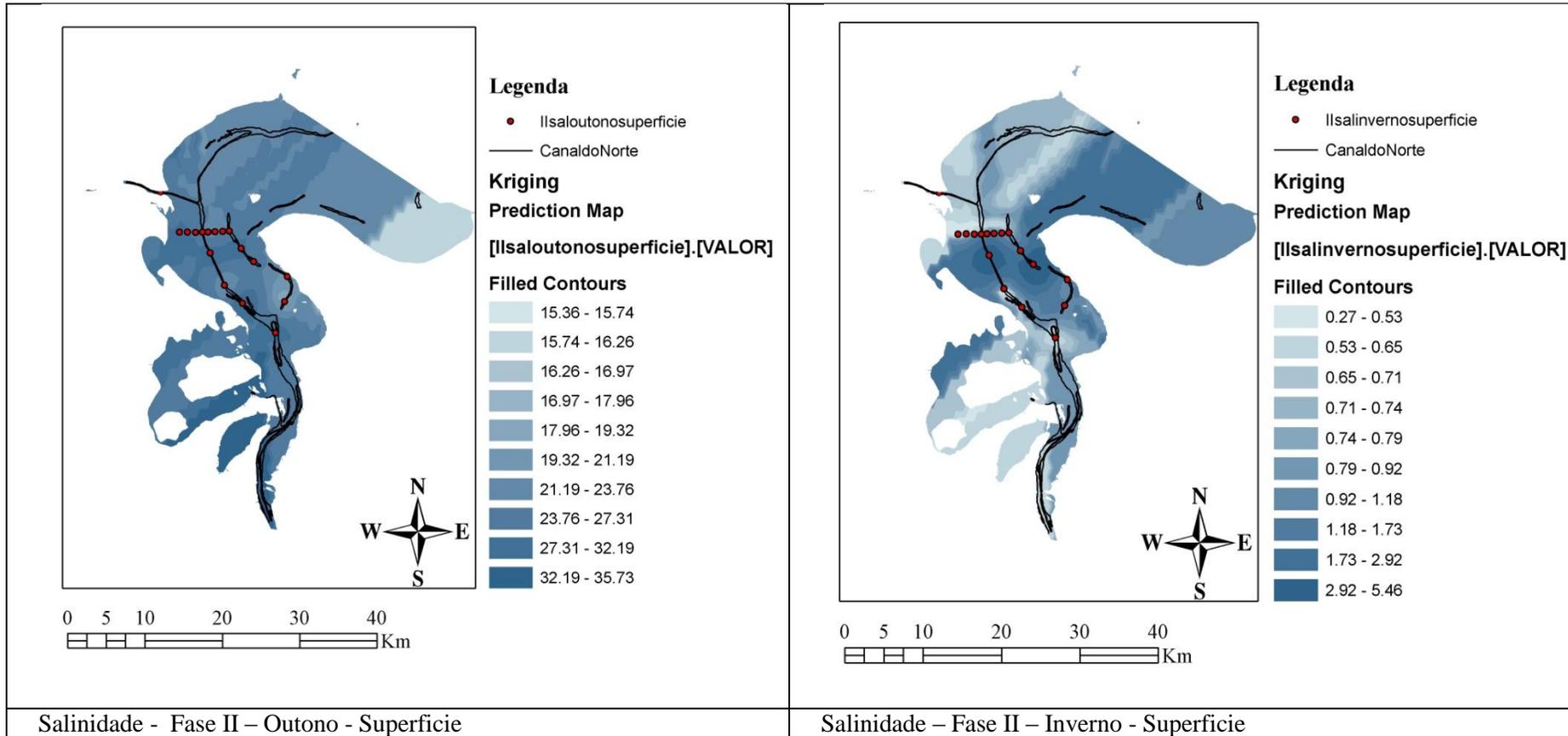


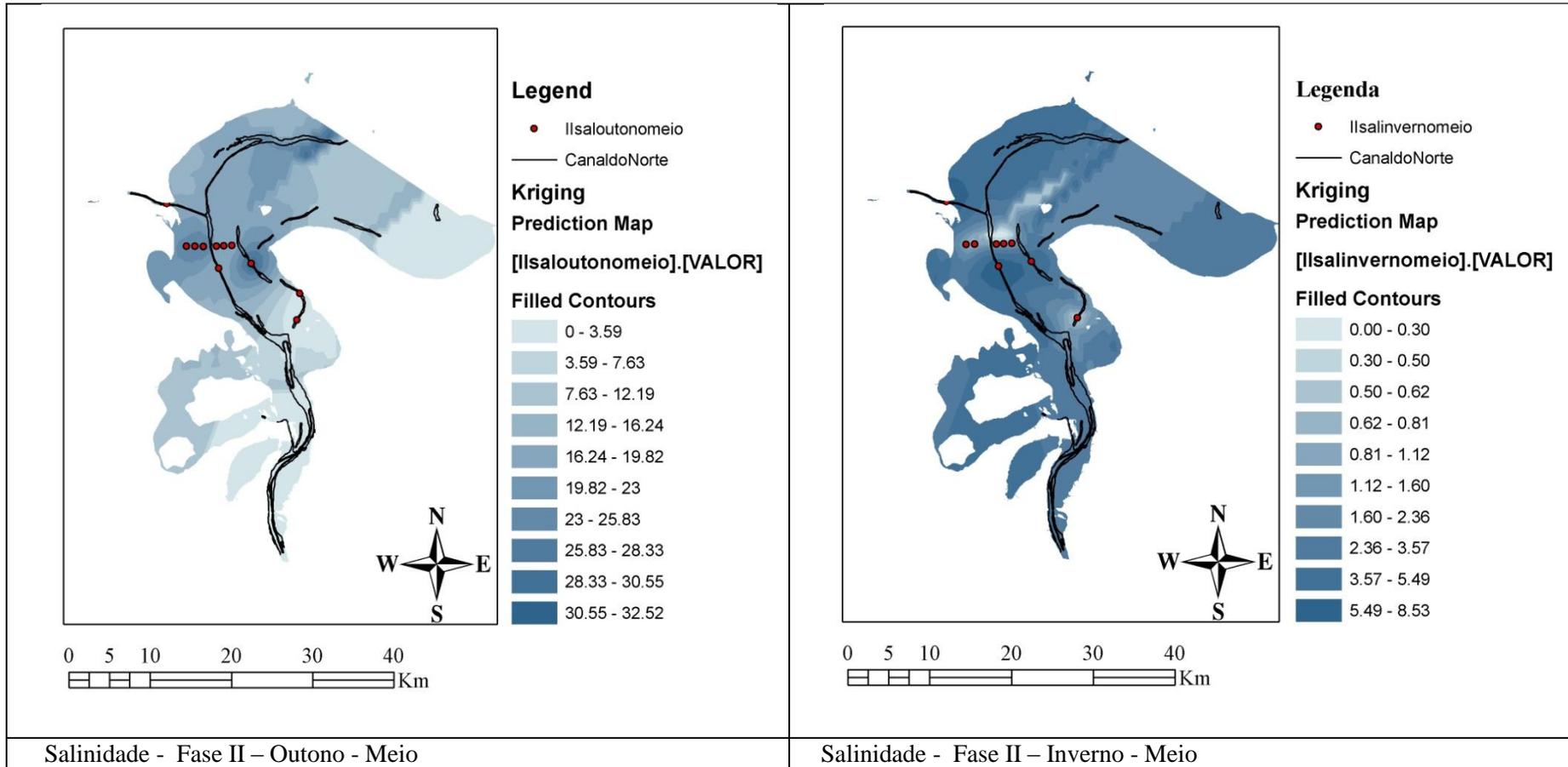


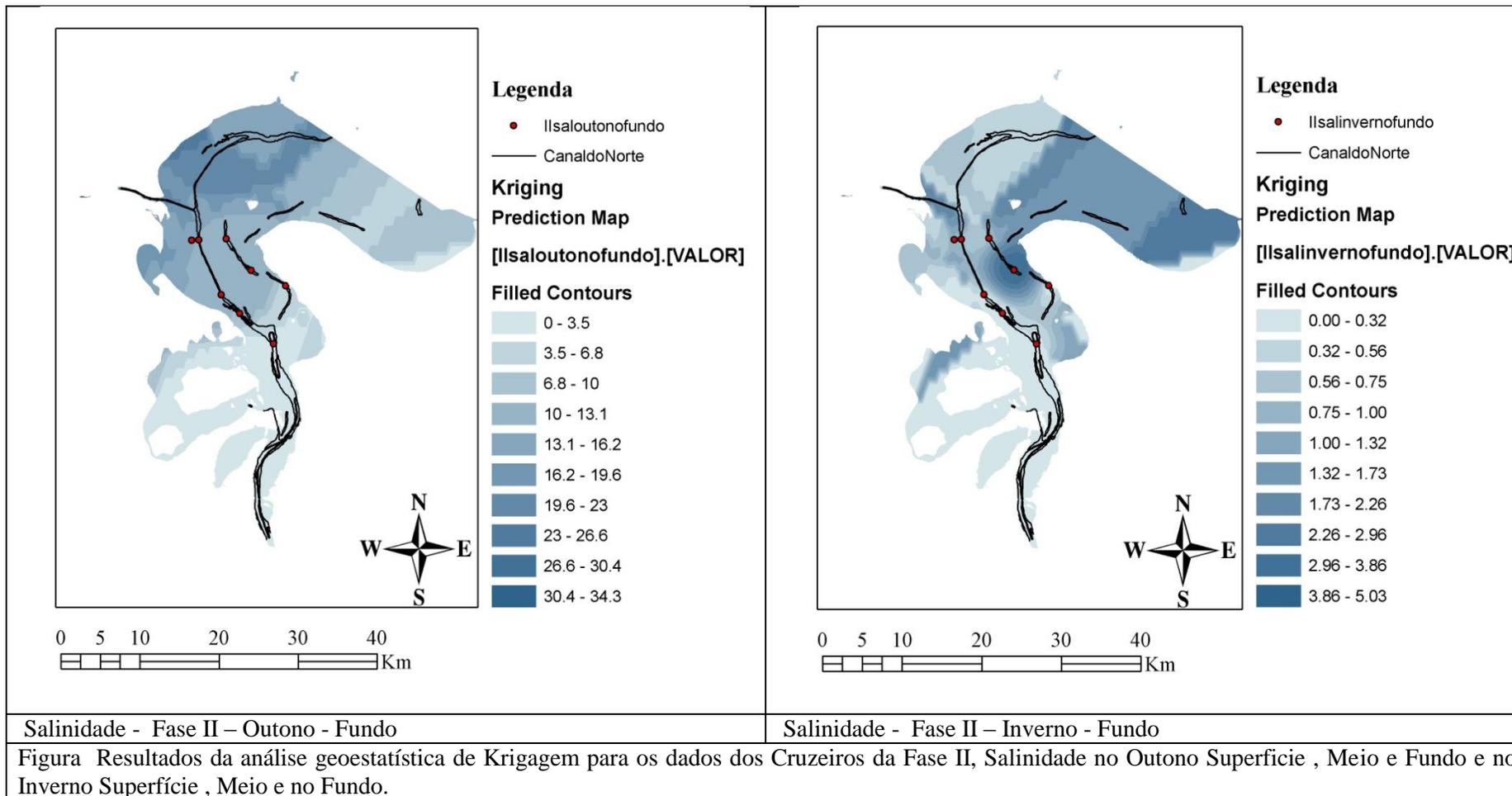












Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)