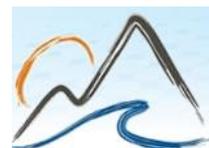




UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA FÍSICA, QUÍMICA E GEOLÓGICA

ÍNDICE DE SENSIBILIDADE AO ÓLEO EM AMBIENTES FLUVIAIS APLICADO A REGIÃO DO PÓLO PETROQUÍMICO DE TRIUNFO E DO DELTA DO JACUÍ, RS

MARILIA KABKE WALLY



ESTUDOS AMBIENTAIS NAS ÁREAS DE ATUAÇÃO
DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO



Rio Grande, 2015

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

**ÍNDICE DE SENSIBILIDADE AO ÓLEO EM AMBIENTES
FLUVIAIS APLICADO A REGIÃO DO PÓLO PETROQUÍMICO
DE TRIUNFO E DO DELTA DO JACUÍ, RS**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Oceanografia Física,
Química e Geológica do Instituto de
Oceanografia da Universidade Federal
do Rio Grande, como requisito parcial
à obtenção do título de MESTRE.

MARILIA KABKE WALLY

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Nicolodi

Rio Grande, 2015

... mas como sopra o vento sobre o Mar Oceano!
Se eu morresse amanhã, só deixaria, só
uma caixa de música,
um mapa figurado,
uns poemas cheios da beleza única
de estarem inconclusos...

Mário Quintana

Agradecimentos

O tempo de mestrado pode passar voando, mas não faltam motivos e pessoas para agradecer. Momentos, amizades novas e antigas, alegrias e até as decepções têm seu valor para marcar esse período.

Em primeiro lugar queria agradecer a minha família e amigos, responsáveis por manterem os neurônios funcionando mesmo nas horas confusas de escrever e procurar bibliografias quase não existentes. Obrigada por emprestarem os ouvidos, a voz para animar e também por participarem da rotina via gtalk, Messenger, skype e sms enquanto estava enclausurada em casa. Cada um de vocês sabe a importância que tiveram no processo, obrigada de coração!

Também queria agradecer ao meu orientador João Luiz Nicolodi pela motivação, direção e suporte dados. João tu serias um excelente técnico de futebol, porque sempre depois das nossas conversas vinha uma disposição, um novo gás e as novas idéias chegavam, valeu mesmo.

A equipe do ISL do projeto Cartas SAO: Chay, Elaine, Lelo e Vanessa. Cada saída de campo, cada conversa, cada risada e tirada de tempo sempre valeram e pena. Muito bom poder ter conhecido vocês nesse tempo. Obrigada Lelo também por me aturar nesses momentos de estresse final me dando o caminho das pedras no ArcGis. Ao pessoal do LOG, apesar de não ter estado tão próxima esse tempo, sempre que estava lá era reanimador conviver com vocês.

Agradeço também ao apoio do PRH 27, ANP e Petrobras através dos cursos ministrados, conhecimentos passados e também pela bolsa concedida. Obrigada Griep e Isabel pelo acompanhamento durante o tempo do mestrado.

Durante a realização da dissertação alguns fatos marcaram e merecem um agradecimento expresso. Obrigada Valmor da Metroclima - Prefeitura de Porto Alegre, hoje em dia é tão raro servidor municipal com boa vontade que eu realmente fiquei muito agradecida com a eficiência e com as informações repassadas. Também agradeço a tapioca, salvadora dos intolerantes no desespero, e a ao café passado, expresso, da cafeteira italiana, aquele que nunca nos abandona e sempre colabora com a dissertação.

E por último, mas não menos importante, agradeço a Deus que direciona, inspira e leva a vida de cada um. Com certeza não teria chegado até aqui senão fosse pela força e suporte dele.

Resumo

O risco de derrames de combustíveis fósseis e derivados é frequente no ambiente fluvial. Estes vazamentos causam impactos sobre a vida aquática, atingindo também atividades socioeconômicas, como a pesca e o turismo. As Cartas de Sensibilidade são instrumentos oficiais para orientação à resposta em casos de acidentes já que fornecem subsídios necessários à tomada de decisões de contingência. Contudo, a atual metodologia das Cartas SAO é desenvolvida para ambientes costeiros e marinhos. Os rios e regiões estuarinas possuem características geomorfológicas e hidrodinâmicas distintas desses e deste modo estes não são propriamente classificados. O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver índices de sensibilidade ao óleo para ambientes fluviais, aplicado à região do delta do rio Jacuí, RS. A região de estudo possui o tráfego diário de navios transportando derivados de petróleo para o Pólo Petroquímico de Triunfo e é uma região de sensibilidade ambiental elevada por possuir diversas ilhas e canais na região deltaica. A metodologia consistiu na identificação da existência e aplicação de métodos para o ambiente fluvial, sistematização das características do ambiente em estudo e definição dos critérios de sensibilidade da classificação. As principais variáveis consideradas foram declividade/substrato da margem e tipo de vegetação associada, já que estas interferem diretamente no comportamento do óleo. O índice desenvolvido classificou as feições sem vegetação em: muros (ISLF 1), substrato declividade média (ISLF 2), escarpas (ISLF 3), praia areia fina/média (ISLF 4), praia mista/areia grossa (ISLF 5) áreas com entulhos e resíduos (ISLF 6). As margens vegetadas foram divididas conforme a importância ecológica e o porte, as classes criadas foram: escarpas vegetadas (ISLF 7), bancos vegetados (ISLF 8), florestas aluviais (ISLF 9) e banhados (ISLF 10). O índice aqui desenvolvido espera realizar uma classificação mais adequada para os ambientes fluviais em questão. Este trabalho também almeja contribuir para a gestão de contingência no país e motivar os diálogos sobre a sensibilidade ao óleo.

Abstract

The risk of oil spills is common in fluvial environments. These spills have impacts on aquatic life and affect socioeconomic activities such as fishing and tourism. Maps of Environmental Sensitivity (SAO Charts) are official instruments that can guide responses in cases of oil spill accidents, by providing necessary subsidies to take contingency decisions. However, the current methodology for the development of SAO Charts is designed for employment in coastal and marine environments. Rivers and estuarine regions have particular geomorphological and hydrodynamic characteristics that differ from marine environments, and therefore are not properly classified. The aim of this study was to establish an oil sensitivity index for fluvial environments, applied to the Jacuí river delta region, RS. The study area has a daily traffic of vessels loaded with oil byproducts that are transported to the Triunfo Petrochemical Complex. This is an area of high environmental sensitivity because there are several islands and canals around the delta region. The methodology consisted of the identification of the existence and application of already established methods for the riverine environment, features systematization of the study area and definition of sensitivity criteria for classification. The main considered variables were the slope and substrate of the margin and associated vegetation types, as they interfere directly with the behavior of the spilled oil. The developed index classified them as: walls (ISLF 1), average slope substrate (ISLF 2), cliffs (ISLF 3), fine- to medium-grained sand beaches (ISLF4), mixed sand / coarse-grained sand beaches (ISLF 5), debris and waste (ISLF 6), vegetated cliffs (ISLF 7), vegetated banks (ISLF 8), alluvial forests (ISLF 9) and herbaceous wetlands (ISLF 10). The index developed herein expects to perform a more appropriate classification of the riverine environments of concern. This work also aims to contribute to the contingency management in Brazil and incentivate dialogues about oil sensitivity.

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa do Parque Estadual Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul indicando, em fundo branco, a área do parque. Elaborado pelo Laboratório de Geoprocessamento, MCN/FZB, RS. Fonte: Tavares et al., 2003.	33
Figura 2: Gráfico com as medições diárias de nível realizada na Ilha da Pintada pela Defesa Civil (2014).	35
Figura 3: Seção geológica esquemática ao longo do Delta, com direção leste-oeste, estendendo-se desde o saco de Santa Cruz até a ilha do Pavão (DAER, 1950; In: DELANEY, 1965).	36
Figura 4: Representação das nove bacias da região hidrográfica do Guaíba. (Fonte: FEPAM, 2013).	37
Figura 5: Perfil ambiental esquemático com a sequência da vegetação na Ilha das Flores (Oliveira, 1998).	41
Figura 6: Mapa de localização do Delta do Rio Jacuí indicando, em fundo branco, a área do Parque Estadual e da Área de Preservação Ambiental.	49
Figura 7: Margens classificadas com: ISLF 1 - Muros / Estruturas Verticais; ISLF 2 - Substrato Declividade Média / Estruturas de Madeira.	58
Figura 8: Margens classificadas com: ISLF 3 - Escarpas; ISLF 4 - Praia Areia Fina/Média.	59
Figura 9: Margens classificadas com: ISLF 5 - Praias Mistas / Areia Grossa; ISLF 6 - Entulhos e Resíduos.	60
Figura 10: Margens classificadas com: ISLF 7 - Escarpas Vegetadas; ISLF 8 - Bancos Vegetados.	61
Figura 11: Margens classificadas com: ISLF 9 - Florestas Aluviais; ISLF 10 - Banhados.	64
Figura 12: Escarpa vegetada em dois níveis da água distintos.	65
Figura 13: Carta Operacional da área do Delta do Jacuí, escala 1:50000.	77
Figura 14: Carta Operacional de detalhe da região do Canal de Santa Clara, Polo Petroquímico de Triunfo, escala 1:25000.	78
Figura 15: Carta Operacional de detalhe da foz dos rios Caí e Sinos, escala 1:25000.	79
Figura 16: Carta Operacional de detalhe da região urbanizada, próxima a BR116, escala 1:25000.	80
Figura 17: Carta Operacional de detalhe do arroio da Pintada e Saco Santa Cruz, escala 1:25000.	81

Lista de Tabelas

Tabela 1: Tipos de acidentes ambientais registrados pelo IBAMA dos anos 2010, 2011, 2012 e 2013. (Fonte: IBAMA, 2011, 2012, 2013, 2014).....	14
Tabela 2: Índice de Sensibilidade do Litoral do MMA (2007).	17
Tabela 3: Índice de Sensibilidade Ambiental (ESI) conforme metodologia da NOAA (2002).	24
Tabela 4: Índice de sensibilidade fluvial da região amazônica (Araújo <i>et al.</i> , 2006).....	26
Tabela 5: Índice de Sensibilidade Fluvial proposto por Costa (2013).	27
Tabela 6: Ocorrências envolvendo petróleo e derivados em rios no Brasil (1960-2012). Fonte: CETESB (2014).	30
Tabela 7: Movimentação de cargas por tipo de navegação do terminal de Santa Clara dos anos 2010, 2011, 2012 e 2013. (Fonte: ANTAQ, 2011, 2012, 2013, 2014).	34
Tabela 8: Trabalhos selecionados como base para o método em estudo.....	50
Tabela 9: Tabela de Índice de Sensibilidade do Litoral Fluvial com os principais parâmetros. ..	57

Lista de siglas

ANTAQ: Agência Nacional de Transportes Aquaviários

APAEDJ: Área de Proteção Ambiental Estadual Delta do Jacuí

CARTAS SAO: Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

CLC: Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos Causados por Poluição por Óleo

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

EPA: Environmental Protection Agency

ESI: *Environmental Sensitivity Index*

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler do Rio Grande do Sul

FZB: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul

GADEC: Gabinete Defesa Civil de Porto Alegre

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IMO: Organização Marítima Internacional

IPIECA: Associação Global da Indústria do Petróleo e Gás para o Meio Ambiente e Questões Sociais

ISL: Índice de Sensibilidade do Litoral

ISLF: Índice de Sensibilidade do Litoral Fluvial

ITOPF: International Tanker Owners Pollution Federation Limited.

MARPOL: Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios

MMA: Ministério do Meio Ambiente.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.

OGP: Associação Internacional de Produtores de Petróleo e Gás

OPRC: Convenção Internacional sobre Preparo, Responsabilidade e Cooperação em Casos de Poluição por Óleo

PEDJ: Parque Estadual Delta do Jacuí

PNC: Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional

Sumário

Capítulo I – Considerações Iniciais	12
1. Introdução	13
1.1 Legislação aplicável	18
1.2 Histórico de Mapeamentos de Sensibilidade ao óleo	20
1.1 Objetivos.....	28
1.2 Motivação.....	29
2. Área de Estudo	32
2.1 Clima	34
2.2 Geologia e Geomorfologia	36
2.3 Hidrografia	37
2.4 Vegetação	38
Capítulo II – Corpo Principal	42
1. Introdução	43
2. Área de Estudo	47
3. Desenvolvimento da Metodologia	49
3.1. Primeira Etapa.....	50
3.2. Segunda Etapa.....	51
3.3. Terceira Etapa	52
3.4. Quarta Etapa	52
4. Resultados e Discussão.....	53
5. Conclusões.....	66
Capítulo III – Mapeamento do Delta do Rio Jacuí	67
ÍNDICE DE SENSIBILIDADE DO LITORAL FLUVIAL: DELTA DO RIO JACUÍ	68
Comparação com índice padrão do Ministério do Meio Ambiente	75
Cartas do Delta do Jacuí	76
Capítulo IV – Considerações Finais	82
Considerações Finais	83
Sugestões para trabalhos futuros	85
Referências Bibliográficas.....	86

Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada na forma de capítulos. Uma explanação geral do conteúdo destes encontra-se a seguir.

O Capítulo I refere-se a uma contextualização e introdução do tema abordado na dissertação através do estado da arte, legislação aplicável e descrição da área de estudo. Neste capítulo também são apresentados os objetivos do trabalho bem como a motivação deste.

No Capítulo II encontra-se o corpo principal da dissertação na forma de artigo. Este será submetido ao periódico *Ambiente & Sociedade*, sendo já apresentado conforme as normas da revista.

O Capítulo III apresenta o mapeamento realizado no Delta do Jacuí com o índice proposto. O modelo de apresentação deste mapeamento foi inspirado nas cartas disponibilizadas pela NOAA.

O Capítulo IV expõe as considerações finais do estudo. Neste capítulo também são descritos as sugestões para trabalhos futuros.

Para finalizar, as referências bibliográficas de toda dissertação são apresentadas.

Capítulo I – Considerações Iniciais

1. Introdução

Os combustíveis fósseis são a fonte de energia mais difundida e utilizada no mundo. Além da energia estes combustíveis são utilizados na produção de plásticos, fármacos, tintas, fertilizantes, entre outros. Porém, o petróleo e derivados possuem um alto grau de contaminação nos ambientes aquáticos além de impactando os animais, a água, o solo e as atividades econômicas relacionadas (CETESB, 2002).

Durante o transporte destes hidrocarbonetos, existe o risco intrínseco de derramamentos causando danos ao ambiente. Segundo a ITOPI (2012), um acidente de grandes proporções produz um severo impacto ambiental mesmo sendo de curto prazo. Estes impactos atingem o ecossistema e a população próxima a área contaminada, afetando seus meios de subsistência e prejudicando sua qualidade de vida.

Os efeitos ao ambiente são relacionados à toxicidade dos hidrocarbonetos, causando efeitos letais ou subletais através da intoxicação, e ao efeito de recobrimento da fauna e flora dos ambientes, podendo causar asfixia, aumento da temperatura corporal, alteração na locomoção, bloqueio da fotossíntese, entre outros (O'SULLIVAN & JACQUES, 2001).

O grau de impacto é influenciado por diversos fatores como o tipo e quantidade de óleo derramado, hidrocarbonetos leves são altamente tóxicos, contudo evaporam em poucas horas, óleos pesados são densos e pouco tóxicos, mas causam recobrimento e permanecem no ambiente por horas ou dias. A época do ano também afeta as comunidades biológicas podendo interromper a sucessão ecológica e os ciclos reprodutivos.

O ambiente fluvial sofre diariamente com este risco através de acidentes com navios, trens, caminhões e até dutos. No ano 2000 cerca de 4 milhões de litros de óleo cru atingiram o rio Barigüí e o rio Iguaçu no Paraná, um dos maiores derrames registrados em área continental do país. O vazamento originou-se em um duto na Refinaria Getúlio Vargas em Araucária, o óleo atingiu também um arroio e áreas de banhados até chegar ao rio Barigüí. Do total, 2,5 milhões de litros ficaram retidos no

Barigüi e o restante se espalhou em uma extensão de 30 quilômetros próxima à cabeceira do Rio Iguaçu (BAYARDINO, 2004).

Este vazamento trouxe impactos econômicos e ecológicos para a região. Após o incidente monitoramentos foram realizados no sedimento dos banhados, águas subterrâneas e superficiais. No trabalho de Melo *et al.* (2003) encontrou-se contaminação de hidrocarbonetos em alguns locais no solo e nas águas subterrâneas nas áreas mais próximas a refinaria, o trabalho posterior apresentado por Albarello (2008) aponta contaminação apenas nos solos analisados, a água subterrânea não apresenta hidrocarbonetos. O estudo realizado por Pilchowski (2003) conclui que durante o período estudado houve uma recuperação gradual do ambiente por encontrarem um incremento na abundância e diversidade da ictiofauna na região.

Os rios são um importante agente geológico desempenhando relevância no condicionamento ambiental e no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas dos continentes e para o mar (Christofolletti, 1980). Este ambiente também possui importância como vias navegáveis, geração de energia, fonte de agregados para a construção civil, além do abastecimento público, industrial e para agricultura.

Durante as diversas etapas de exploração, produção, refino e logística do petróleo e derivados os acidentes ambientais podem acontecer. Em 2013 foram registrados 195 acidentes ambientais nas rodovias brasileiras, 101 em ferrovias, 81 em plataformas, 61 em embarcações, 59 em indústrias, 32 em dutos, 28 envolvendo armazenamento ou depósito de produtos perigosos, 14 em portos e terminais, 10 em postos de combustíveis, 8 em barragens, e 5 em refinarias, todos envolvendo produtos perigosos (IBAMA, 2014).

Segundo o relatório do IBAMA (2014), acidentes envolvendo derivados de petróleo e combustíveis estiveram envolvidos na maioria dos acidentes registrados em todos os anos analisados. Na tabela 1 são listados os tipos de acidente ambiental dos anos 2010 até 2013, sendo que o tipo “derramamento de líquidos” é o evento mais registrado desde 2006, com destaque para o ano de 2013, onde computou-se 51,5% do total de registros.

Tabela 1: Tipos de acidentes ambientais registrados pelo IBAMA dos anos 2010, 2011, 2012 e 2013.
(Fonte: IBAMA, 2011, 2012, 2013, 2014)

	2010	2011	2012	2013
Derramamento de líquidos	406	405	357	377
Desastre natural	6	4	6	5
Explosão / incêndio	180	149	105	127
Lançamento de sólidos	33	47	57	98
Mortandade de peixes	78	43	70	65
Outro (s)	9	6	6	19
Produtos químicos / embalagens abandonadas	9	5	3	9
Rompimento	10	9	8	7
Vazamento de gases	73	104	89	79
Total:	804	772	701	786

Para a orientação a resposta em casos de acidentes o principal instrumento oficial existente é o conjunto de Cartas de Sensibilidade ao Óleo (Cartas SAO). Elas fornecem subsídios necessários à tomada de decisões imediatas sobre prioridades de proteção e definição da estratégia de controle mais adequada a cada situação específica. As Cartas SAO são elaboradas conforme o documento oficial “Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derrames de Óleo” (MMA, 2007), desenvolvido para ambientes costeiros ou marinhos. Contudo, os rios e regiões estuarinas possuem características geomorfológicas e hidrodinâmicas distintas desses e deste modo estes ambientes não são propriamente classificados.

A sensibilidade é classificada por meio do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), tabela 2, que leva em consideração as características geomorfológicas, como o grau de exposição à energia de ondas e marés, a declividade do litoral e o tipo do substrato. A escala varia de 1 a 10 em um grau crescente de sensibilidade. A geomorfologia é determinante para o tipo e a densidade das comunidades biológicas presentes na área. Nas cartas também são indicados os recursos biológicos e as atividades socioeconômicas das regiões assim como estradas, *píers* e demais pontos de apoio importantes para a logística de resposta à emergência.

O grau de exposição de ondas e marés está principalmente relacionado ao tempo de permanência do óleo. Ambientes expostos, ou seja, de alta energia tendem a sofrer limpeza natural em menor tempo do que ambientes abrigados. A intensidade

das marés também interfere na superfície que pode ser coberta por óleo devido aos níveis que variam entre a maré baixa e a maré alta, esta característica pode ser relacionada aos efeitos de variações de nível nos rios como cheias e secas.

A declividade do litoral atua na extensão da zona afetada e no tempo de permanência do óleo. Isto acontece porque a inclinação da face de praia influencia na reflexão e quebra das ondas; praias com maior declividade possuem elevadas velocidades de espraiamento e retorno proporcionando uma limpeza natural em curto espaço de tempo. Costas com declividades baixas permitem o estabelecimento de comunidades biológicas e possuem menores níveis de energia para limpeza natural do óleo, ocasionando um tempo maior de permanência e uma sensibilidade biológica maior.

Os tipos de substrato afetam a sensibilidade em vários aspectos como mobilidade e permeabilidade do sedimento, permanência do óleo e a trafegabilidade. Sedimentos grossos, como cascalho, possuem uma maior permeabilidade e, portanto uma maior penetração do óleo, os sedimentos lamosos tendem a ser saturados em água, assim a penetração do óleo é muito limitada. Praias de areia fina são compactas e permitem o tráfego de equipamentos de limpeza e proteção, contudo em ambientes lamosos e vegetados estes equipamentos não devem ser utilizados pelo impacto que causam sobre a comunidade vegetal.

Para um mapeamento compatível com a sensibilidade fluvial é preciso conhecer as minúcias das margens fluviais com as peculiaridades que as mesmas apresentam. Desta forma, ajustes metodológicos poderão ser efetuados obtendo-se a geração de índice específico para margens de rio.

Com este intuito, o presente estudo elegeu o Delta do Rio Jacuí (RS) para o desenvolvimento de tal índice. A região em questão abrange intensa movimentação portuária como o terminal fluvial do polo petroquímico de Triunfo e uma área de alta sensibilidade ambiental representada pelas ilhas e canais que formam o delta. Nesta região há tráfego frequente de embarcações tanto para o polo quanto para os demais terminais portuários do estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 2: Índice de Sensibilidade do Litoral do MMA (2007).

Índice de Sensibilidade do Litoral	Tipos de Costa
ISL 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos ▪ Falésias em rochas sedimentares, expostas ▪ Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas
ISL 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos ▪ Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)
ISL 3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praias dissipativas de areia média a fina, expostas ▪ Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo “long beach”) ▪ Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos ▪ Campos de dunas expostas
ISL 4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praias de areia grossa ▪ Praias intermediárias de areia fina a média, expostas ▪ Praias de areia fina a média, abrigadas
ISL 5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais ▪ Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação ▪ Recifes areníticos em franja
ISL 6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praias de cascalho (seixos e calhaus) ▪ Costa de detritos calcários ▪ Depósitos de tálus ▪ Enroncamentos (“rip-rap”, guia corrente, quebramar) expostos ▪ Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
ISL 7	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planície de maré arenosa exposta ▪ Terraço de baixa-mar
ISL 8	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escarpa / encosta de rocha lisa, abrigada ▪ Escarpa / encosta de rocha não lisa, abrigada ▪ Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados ▪ Enroncamentos (“rip-rap” e outras estruturas artificiais não lisas) abrigadas
ISL 9	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas ▪ Terraço de baixa-mar lamoso abrigado ▪ Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
ISL 10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deltas e barras de rio vegetadas ▪ Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas ▪ Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado, apicum ▪ Marismas ▪ Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

1.1 Legislação aplicável

O Brasil através de convenções internacionais como Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos Causados por Poluição por Óleo (CLC/69), Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios (MARPOL 73/78) e Convenção Internacional sobre Preparo, Responsabilidade e Cooperação em Casos de Poluição por Óleo (OPCR/90) mantém o compromisso de possuir uma estrutura nacional de combate à poluição por óleo, através da prevenção, controle e fiscalização para a proteção do ambiente aquático.

A CLC/69 introduziu os limites de responsabilidade civil por danos causados por derramamentos de óleo. A MARPOL 73/78 foi uma convenção realizada em 1973 que através do protocolo de 1978 foi atualizada com emendas inserindo regras específicas para estender a prevenção da poluição do mar às cargas perigosas ou hidrocarbonetos. Como medidas de prevenção acordadas na convenção podemos citar: realizar vistorias periódicas nos navios; comprometimento dos países signatários em assegurar a instalação de equipamentos seguros para recebimento da descarga de resíduos de óleo e misturas oleosas; obrigatoriedade de possuir o livro de registro do óleo com todas as movimentações de óleo, lastro e demais misturas oleosas.

As principais resoluções de prevenção e contingência em casos de derrames de óleo vieram através da OPRC 90, uma convenção que ocorreu após o acidente do *Exxon Valdez* no Alasca em 1989. Esta convenção incentivou os países a desenvolverem medidas eficazes para as emergências decorrentes deste tipo de acidente. Além dos navios e plataformas, as instalações portuárias que operam com hidrocarbonetos e derivados também foram inseridas nas novas medidas.

A OPRC estabeleceu que os estados devem exigir planos individuais de emergência dos responsáveis por instalações que manuseiem hidrocarbonetos e derivados, além de que os países devem possuir um sistema de resposta aos acidentes através de um plano nacional de contingência e um plano internacional. Estas resoluções incentivaram publicações sobre os impactos do óleo nos ambientes além dos mapeamentos de sensibilidade ao redor do mundo (MICHEL *et al.*, 1994; O'SULLIVAN & JACQUES, 2001; IPIECA, 2012, TORTELL, 1992).

No Brasil estas convenções foram recepcionadas na forma de decretos. O Decreto Nº 2.508/98 (BRASIL, 1998) aprova as definições da MARPOL, estabelecendo regras para a prevenção de poluição por óleo em navios, portos e terminais. A OPRC 90 é ratificada através do Decreto Nº 43/98 (BRASIL, 1998) no qual afirma no artigo 6 que o país deve estabelecer um sistema nacional para responder pronta e efetivamente aos incidentes de poluição por óleo.

A lei do óleo, lei 9.966 de 2000 (BRASIL, 2000), estabeleceu os princípios básicos a serem obedecidos na movimentação de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em portos organizados, instalações portuárias, plataformas e navios sob jurisdição nacional. Estas determinações aplicam-se às embarcações e plataformas nacionais ou estrangeiras, portos, instalações portuárias e dutos.

Através desta lei ficou delegado ao órgão federal do meio ambiente, Ministério do Meio Ambiente (MMA), consolidar os planos de contingência locais e regionais na forma do Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional (PNC), em articulação com os órgãos da defesa civil. A este órgão também cabe definir a localização e os limites das áreas ecologicamente sensíveis e estabelecer as diretrizes para o mapeamento dessas áreas, de forma a subsidiar a gestão e o controle das áreas costeiras e marinhas sensíveis a derramamentos de óleo.

A lei do óleo define que as instalações devem dispor de sistemas de prevenção, controle e combate à poluição para resposta imediata. As entidades exploradoras de porto organizado ou de instalação portuária, o proprietário ou operador da plataforma ou de navio e o concessionário ou empresa autorizada a exercer atividade pertinente à indústria do petróleo são os responsáveis pela descarga de material poluente em águas nacionais, conforme o artigo 23.

A resolução CONAMA nº 398 de 2008 (BRASIL, 2008) dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional. Nestes planos são descritas as medidas adotadas para prevenção, controle e combate à poluição para fins de licenciamento dos empreendimentos. São obrigatórios para portos organizados, instalações portuárias,

terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares.

O PNC foi instituído através do Decreto Nº 8.127/2013 (BRASIL, 2013). Neste decreto ficam determinadas a estrutura organizacional, a mobilização e os instrumentos do plano. No artigo 21 são descritos os instrumentos do Plano Nacional, entre eles: “I - cartas de sensibilidade ambiental ao óleo e outros dados ambientais das áreas atingidas ou em risco de serem atingidas”. Tanto na resolução CONAMA 398 quanto no Decreto Nº 4871/2003 (BRASIL, 2003) os mapeamentos de sensibilidade do ambiente devem ser elaborados conforme as especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamento de óleo - Cartas SAO.

Outra legislação aplicável ao âmbito do trabalho é o novo Código Florestal, lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012), que estabelece que as faixas marginais de qualquer curso d'água natural são Áreas de Preservação Permanente. Estas áreas possuem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

1.2 Histórico de Mapeamentos de Sensibilidade ao óleo

Os mapeamentos das áreas sensíveis a derramamento de óleo começaram a ser implantados em regiões costeiras com os planos de contingência dos Estados Unidos voltados para os habitats marinhos (MICHEL *et al.*, 1994). O trabalho de Gundlach & Hayes (1978) criou o primeiro índice de sensibilidade ambiental associando as características geomorfológicas do ambiente e a capacidade de auto-limpeza, uma classificação do litoral baseada apenas nas características físicas.

A partir de 1979, foi aplicado nos EUA o *Environmental Sensitivity Index* (ESI), índice de sensibilidade ambiental (JENSEN *et al.*, 1998). Este índice é composto por três tipos de informações espaciais: classificação da sensibilidade do litoral na escala de 1 a 10; os recursos biológicos sensíveis ao óleo; e os recursos de uso humano. Esta

metodologia está descrita no manual das diretrizes para os mapeamentos de sensibilidade a derrames de óleo do serviço nacional de administração dos oceanos e da atmosfera (National Ocean and Atmospheric Administration -NOAA) dos Estados Unidos (NOAA, 2002).

A publicação da Associação Global da Indústria do Petróleo e Gás para o Meio Ambiente e Questões Sociais (IPIECA) em conjunto com a Organização Marítima Internacional (IMO) e Associação Internacional de Produtores de Petróleo e Gás (OGP) segue a metodologia proposta pela NOAA. Segundo estes autores, esses procedimentos representam um consenso da indústria e dos governos, sendo revisadas por especialistas dos comitês dessas organizações ao redor do mundo (IPIECA, 2012).

A classificação da sensibilidade do litoral utilizada nestes métodos leva em consideração os parâmetros físicos, como a geomorfologia e a hidrodinâmica da costa. Os primeiros autores que salientaram a importância da inclusão mais precisa da sensibilidade biológica foram Owens e Robilliard (1981), o quais realizaram uma reavaliação de sensibilidade do litoral aliando os parâmetros físicos com os locais de reprodução e forrageamento das espécies sensíveis. Segundo Moe *et al.* (2000) os mapas gerados são mais instrumentos técnicos do que uma ferramenta ambiental efetiva para planos de contingência, no qual o componente recurso natural é frequentemente esquecido.

Os mapeamentos de sensibilidade chegaram ao Brasil através da Petrobras que adaptou o índice americano para os ambientes sedimentares brasileiros (Araújo *et al.*, 2000) e posteriormente foi adotado pelo Ministério do Meio Ambiente com atualizações e novas adaptações (MMA, 2007). Adequações dos índices de Gundlach & Hayes (1978) e do manual elaborado pela NOAA (2002) também foram realizadas em diversos países, como no Egito (HANNA, 1995), Ilha de Trinidad no Caribe (NANSIGH & JURAWAN, 1999), Israel (ADLER & INBAR, 2007) e Nigéria (OYEDEPO & ADEOFUN, 2011).

Metodologias foram criadas buscando aliar as variáveis geomorfológicas, biológicas e socioeconômicas em um mesmo índice, como Moe (2000) na ilha de

Svalbard no Ártico, Castanedo *et al.* (2009) na Espanha, Fattal *et al.* (2010) na França. Outros autores, como Vafai *et al.* (2013) no Irã, utilizaram análises de hierarquia e método fuzzy para criarem índices de sensibilidade.

Em um primeiro momento, as regiões fluviais e lacustres foram classificadas com ajustes nos métodos para áreas costeiras, já que as metodologias contemplavam apenas os ambientes marinhos e costeiros. O Canadá mapeou regiões lacustres fazendo uma adaptação do modelo de persistência do óleo marinho para os Grandes Lagos; os Estados Unidos extrapolaram o índice de sensibilidade ambiental marinho para classificarem os principais rios (MICHEL *et al.*, 1994).

Os primeiros trabalhos que abordam a problemática da metodologia para a sensibilidade fluvial são os de Adams *et al.* (1983) e Baca *et al.* (1985). O estudo de Adams englobou tanto ambientes marinhos como fluviais, classificando a sensibilidade ambiental através de tempo de recuperação dos habitats, persistência do óleo, importância das espécies, singularidade dos habitats e grau de danos ao habitat com a limpeza. Os efeitos dos derrames em águas doces foi o foco de Baca *et al.* que descreveu ambientes de grandes rios e ambientes de águas paradas diferenciando suas características e impactos.

O índice fluvial utilizado pela NOAA nos mapeamentos de grandes rios foi proposto com o trabalho de Hayes *et al.* (1995). Esta classificação foi desenvolvida baseada no entendimento dos processos geomorfológicos e físicos, uma vez que os estudos de derrames neste tipo de meio era limitado. Os autores ressaltam a importância de diferenciar ambientes com vegetação herbácea, como as gramíneas, da vegetação lenhosa, como arbustos e árvores. Com algumas atualizações os Estados Unidos utilizam esta classificação fluvial no manual oficial (NOAA, 2002), além de apresentarem índices próprios para regiões lacustres e estuarinas (Tabela 3).

Uma nova abordagem foi lançada também em Hayes *et al.* (1995) contemplando a sensibilidade das bacias hidrográficas à montante dos grandes rios mapeados por índices fluviais, englobando pequenos rios e córregos. Este estudo foi continuado em Hayes *et al.* (1997) e aplicado em Porto Rico (ZENGEL *et al.*, 2001). O índice criado ressaltou a acessibilidade para contingência e a sensibilidade e

vulnerabilidade de terras úmidas como critérios principais. Os fatores chaves para a classificação foram: navegabilidade; padrão do fluxo da água; tamanho do córrego; canais com bifurcações ou extravasamentos; locais adequados para coleta e tempo de residência do óleo.

A Environmental Protection Agency (EPA), dos Estados Unidos, em conjunto com algumas comissões de bacias hidrográficas lançaram um manual de referência para Atlas de Sensibilidade Interior (EPA, 2000), que além de contemplar margens fluviais, integra essas informações com as dutovias, fontes potenciais de derramamentos, locais estratégicos para resposta nas regiões, entre outros fatores. A classificação da linha de costa é baseada no método utilizado pela NOAA, mas foi simplificada em quatro índices:

1. Baixa sensibilidade (áreas urbanas ou desenvolvidas, costões rochosos, enrocamentos e barreiras de concreto);
2. Baixa-média sensibilidade (praias de areia e cascalho);
3. Média-alta sensibilidade (planícies de maré e bancos íngremes com vegetação baixa);
4. Alta sensibilidade (mangues e pântanos).

No Brasil, o foco principal dos mapeamentos também são as regiões costeiras e marinhas. Estudos desenvolveram adaptações dos métodos buscando melhor adequá-los ao litoral do país, a maioria dos estudos foi realizada no estado de São Paulo (CANTAGALLO *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2008; MULER *et al.*, 2011; PINCINATO *et al.*, 2009; WIECZOREK *et al.*, 2007) e na região Norte (ALMEIDA *et al.*, 2009; ANDRADE *et al.*, 2010; BOULHOSA & SOUZA FILHO, 2007; SOUZA FILHO *et al.*, 2009). Outros trabalhos têm surgido incorporando novos ambientes para a sensibilidade ao óleo como mapeamento em faixa de dutos (MENDES *et al.*, 2005) e índice de sensibilidade ambiental terrestre (MARTINS *et al.*, 2014).

Tabela 3: Índice de Sensibilidade Ambiental (ESI) conforme metodologia da NOAA (2002).

ESI	Estuários	Lagos	Rios (grandes rios)
1A	Costões rochosos expostos	Paredões rochosos expostos	Bancos rochosos expostos
1B	Estruturas artificiais rígidas expostas	Estruturas artificiais rígidas expostas	Estruturas artificiais rígidas expostas
1C	Penhascos rochosos com depósito de talus, expostos	Penhascos rochosos com depósito de talus, expostos	Penhascos rochosos com depósito de talus, expostos
2A	Plataformas de abrasão em rocha, lama ou barro, expostos	Margem rochosa	Bancos de rochas, lajes de leito rochoso
2B	Escarpas e encostas íngremes em argila, expostos		
3A	Praias de areia média e fina		
3B	Escarpas e encostas íngremes em areia, expostos	Escarpas erodidas em sedimentos inconsolidados	Margens erodidas em sedimentos inconsolidados, exposto
3C	Penhascos de tundra		
4	Praias de areia grossa	Praias de areia	Barras de areia e bancos de baixa declividade
5	Praias mistas de areia e cascalho	Praias mistas de areia e cascalho	Barras mistas de areia e cascalho de baixa declividade
6A	Praia de cascalho	Praia de cascalho	Barras de cascalho de baixa declividade
6B	Enrocamentos	Enrocamentos	Enrocamentos
7	Planícies de maré expostas	Planícies de maré expostas	
8A	Escarpas abrigadas em rocha, lama ou barro	Escarpas abrigadas em rocha, lama ou barro	
8B	Estruturas artificiais rígidas, abrigadas	Estruturas artificiais rígidas, abrigadas	Estruturas artificiais rígidas, abrigadas
8C	Enrocamentos abrigados	Enrocamentos abrigados	Enrocamentos abrigados
8D	Encosta de rocha não lisa, abrigada		
8E	Margem de turfa		
8F			Escarpas íngremes vegetadas
9A	Planícies de maré abrigadas	Bancos de areia ou lama abrigados	
9B	Bancos de vegetação herbácea abrigados	Bancos de vegetação herbácea abrigados	Bancos de vegetação herbácea abrigados
9C	Planícies de maré hipersalinas		
10A	Pântanos salobros e salgados / Marismas		
10B	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)
10C	Pântanos	Pântanos	Pântanos
10D	Vegetação arbustiva, áreas úmidas Manguezais (climas tropicais)	Vegetação arbustiva, áreas úmidas	Vegetação arbustiva, áreas úmidas

Na região sul, os trabalhos têm investido em aprimorar a metodologia de classificação. O estudo de Marinho (2012) considerou a inclusão de variáveis biológicas ao ISL e, Martins (2013) propôs mudanças na definição dos ambientes quanto ao grau de energia hidrodinâmica descritos no manual do MMA. Outro fator considerado por Oliveira (2014) foi o aumento da sensibilidade da costa com a presença de sangradouros já que estes conectam a linha da costa com os campos de dunas.

Alguns autores destes trabalhos também apontaram brechas no método adotado pelo MMA. Segundo Muler *et al.* (2011) a metodologia das Cartas SAO ainda não aborda todos os aspectos relevantes à sensibilidade ao óleo. O trabalho de Wieczorek *et al.* (2007) aponta falhas quanto aos métodos empregados na Norma Técnica, pois este leva em conta à persistência ao óleo no ambiente e não à diversidade biológica presente nos ambientes. Marinho (2012) afirma que ambientes geomorfologicamente semelhantes possam apresentar características biológicas distintas. Na visão destes autores o impacto nas comunidades biológicas seria maior do que a persistência do óleo no ambiente e, portanto deveria ser levado em consideração na classificação. O estudo de Oliveira (2014) ressalta que valores fixos, como o ISL, mascaram variações temporais e sazonais dos ambientes.

O ambiente fluvial já foi alvo de estudo específico pela Petrobras que mapeou a sensibilidade da região amazônica e desenvolveu um ISL próprio, apresentado na tabela 4 (ARAÚJO *et al.*, 2006). Para criar este índice foi realizada uma hierarquização das feições fluviais da área: feições encontradas no canal, feições das planícies fluviais e feições de transição entre planície e canal. Contudo, o ISL da região Amazônica não se aplica as demais regiões fluviais do Brasil por está possuir um ecossistema único e condições climáticas distintas de grande parte do país (SOUZA FILHO *et al.*, 2009).

No rio Canhanduba, Itajaí (SC), Ferreira & Beaumord (2008) aliaram Protocolos para Avaliação Rápida de Integridade de Rios e Riachos com uma adaptação das tabelas padrão de ISL do MMA. Foram incluídas nas tabelas para classificação as características físicas do corpo da água como, correntes fluviais, profundidade média do trecho, substrato de fundo e também as características físicas das margens como altura média, substrato da margem e tipo de vegetação.

Tabela 4: Índice de sensibilidade fluvial da região amazônica (Araújo *et al.*, 2006).

ISL	Feição
1	Estruturas artificiais
2	Laje ou afloramento rochoso
3	Corredeira / cachoeira
4	Escarpa / barranco
5	Praia ou banco de areia / seixo exposta
6	Praia ou banco de areia / seixo abrigada
7	Praia ou banco de lama exposto
8	Praia ou banco de lama abrigado
9	Zona de confluência rios e lagos
10A	Banco de macrófitas aquáticas
10B	Vegetação alagada (igapós, várzea, chavascal, campo,

Recentemente, Costa (2013) criou um índice fluvial de grande abrangência voltado para climas quentes e úmidos. O método foi baseado nas bibliografias existentes sobre o tema e utilizou uma ferramenta de análise (MORPH) para determinar os parâmetros imprescindíveis para compor o índice. O Índice de Sensibilidade Fluvial, como foi denominado, possui uma escala de 1 a 10 com grau crescente de sensibilidade (tabela 5). No entanto, esta metodologia não foi testada na prática em nenhum ambiente fluvial, constituindo-se apenas como uma referência teórica.

Tabela 5: Índice de Sensibilidade Fluvial proposto por Costa (2013).

ISF	Ambiente fluvial
1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Margem rochosa impermeável, exposta de alta a média declividade (rochas maciças: metamórfica e ígneas) ▪ Estruturas artificiais impermeáveis, expostas (muros, pontes, píers, rampas, instalações portuárias e outros de concreto, madeira ou metal)
2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Margem rochosa permeável, exposta de alta a média declividade (rochas ígneas e metamórficas com porosidade de fraturas, fissuras ou fendas) ▪ Soleiras com cachoeiras
3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Soleiras com rápidos e corredeiras ▪ Margens erosivas seguidas por terraço
4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Margens erosivas seguidas por vertentes ▪ Praia de areia fina a média, erosional ou transitória
5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praia de areia grossa, erosional ou transitória ▪ Praia mista de areia e cascalho, erosional ou transitória ▪ Praia de areia fina a média, deposicional
6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Margem rochosa impermeável, exposta de baixa declividade (rochas maciças: calcário, metamórfica e ígneas) ▪ Margem rochosa permeável, exposta de baixa declividade (rochas ígneas e metamórficas com porosidade de fraturas, fissuras ou fendas) ▪ Margem de matações exposta ▪ Estruturas artificiais permeáveis, expostas (enrocamentos) ▪ Praia de cascalho (seixo e calhau), erosional ou transitória ▪ Praia de areia grossa, deposicional
7	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estruturas artificiais impermeáveis, abrigadas (muros, pontes, píers, rampas, instalações portuárias e outros de concreto, madeira ou metal) ▪ Margem rochosa impermeável, abrigada de baixa declividade (rochas maciças: metamórficas e ígneas) ▪ Praia mista de areia e cascalho, deposicional ▪ Praia de cascalho (seixo e calhau), deposicional ▪ Ilhas fluviais
8	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Margem rochosa permeável, abrigada de alta a média declividade (rochas ígneas e metamórficas com porosidade de fraturas, fissuras ou fendas) ▪ Margem rochosa permeável, abrigada de baixa declividade (rochas ígneas e metamórficas com porosidade de fraturas, fissuras ou fendas) ▪ Margem de matações abrigada ▪ Estruturas artificiais permeáveis, abrigadas (enrocamentos)
9	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Margem rochosa permeável (rochas sedimentares com porosidade cárstica e feições de dissolução) ▪ Dique natural seguido por terraços ou vertentes ▪ Dique natural seguido por planícies de inundação ▪ Depósito de barras de meandro ▪ Depósito de barras de meandro alagada ▪ Confluência com coalescência de planícies fluviais ▪ Banco de substrato lamoso
10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vegetação ciliar ▪ Meandros abandonados ▪ Lagos de meandros ▪ Banco de macrófitas ▪ Planície de inundação com lago ▪ Planície de inundação com vegetação gramínea ▪ Planície de inundação com vegetação herbácea ▪ Planície de inundação com vegetação arbustiva ▪ Planície de inundação com vegetação arbórea

1.1 Objetivos

Com o intuito de buscar um procedimento adequado para classificar as margens de rio, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma metodologia para índices de sensibilidade ao óleo em ambientes fluviais, aplicado a região do delta do rio Jacuí até o Polo Petroquímico de Triunfo (RS).

O trabalho também possui os objetivos específicos:

- Classificar as feições geomorfológicas segundo a sensibilidade apresentada;
- Elaborar Índices de Sensibilidade Ambiental para a região de estudo;
- Aplicar o método desenvolvido para o mapeamento da área;
- Comparar as Cartas SAO conforme a metodologia oficial e as produzidas neste trabalho.

1.2 Motivação

Os acidentes com óleo e derivados são uma realidade no Brasil, como mostra os dados do IBAMA já citados. Segundo dados apresentados pela CETESB (2014) as ocorrências envolvendo refinarias, dutos e transporte marítimo com petroleiros vêm diminuindo e, vazamentos de óleo provenientes das atividades de perfuração, exploração e produção de petróleo e gás estão se tornando mais frequentes desde 2010.

Das 42 ocorrências envolvendo petróleo e derivados no Brasil entre 1960-2012, reportadas pela CETESB (2014), 12 casos ocorreram ou em regiões fluviais, ou chegaram até estes contaminando o meio (tabela 6). Rompimento de oleodutos, problemas em refinarias e transporte aquaviário foram as fontes nestes episódios. O trabalho de Costa (2013) apresenta 21 acidentes no Brasil envolvendo derramamento de óleo e derivados em áreas continentais entre os anos 1983 e 2013. Estes incidentes ocorreram em oleodutos, rodovias e transporte fluvial.

Os impactos ambientais associados a este tipo de acidente são relacionados ao tipo e volume de óleo vazado, ao comportamento deste na água, e também ao tipo de ambiente contaminado, seja pela persistência do óleo, seja pela sensibilidade da biota. Os impactos socioeconômicos afetam as atividades como turismo, recreação, tomada de água para agricultura ou consumo e também as atividades pesqueiras.

Para aperfeiçoar a resposta à emergência e minimizar os consequentes impactos, uma classificação compatível com a sensibilidade dos ambientais das regiões fluviais é requerida. Os índices criados até agora para rios no Brasil (ARAÚJO *et al.*, 2006; COSTA 2013) não contemplam os ambientes de clima subtropical, como é o caso da região sul do país.

Através da problemática levantada surge a hipótese de ser válida a criação de um índice para ambientes fluviais para ambientes de clima subtropical, como é o caso do região sul do país, já que os índices propostos até agora para rios no Brasil (ARAÚJO *et al.*, 2006; COSTA 2013) não contemplam estes ambientes.

A legislação vigente também aponta uma necessidade de melhora nos sistemas de contingência para poluição de óleo e derivados. A movimentação da indústria do petróleo não acontece apenas em regiões costeiras e marinhas, mas também através dos modais rodoviários, fluviais e dutoviários sendo necessária a abrangência destes ambientes nos mapeamentos de sensibilidade ambiental a derrames de óleo.

Tabela 6: Ocorrências envolvendo petróleo e derivados em rios no Brasil (1960-2012). Fonte: CETESB (2014).

Data	Local / áreas atingidas	Fonte / Causa	Vol. vazado estimado
Junho/1984	São Sebastião (SP) Centro urbano e praias	Terminal de Armazenamento Incêndio no Córrego do Outeiro	Não estimado
Julho/1985	Cubatão (SP) Rio Cubatão	Refinaria de Cubatão Explosão em tanque de armazenamento	500 m ³ de óleo combustível
Agosto/1999	Manaus (AM) Igarapés e Rio Negro	Rompimento de oleoduto Refinaria de Manaus - REMAN	3 e 1 m ³ de óleo combustível
Novembro/1999	Carmópolis (SE) Rio Iriri/pesca	Exploração e Produção de Petróleo Sonda em campo terrestre	Não estimado de petróleo
Julho/2000	Paraná Rios Barigui e Iguaçu	Refinaria do Paraná Falha interna	4.000 m ³ de óleo
Fevereiro/2001	Mato Grosso Córrego Caninana	Rompimento de oleoduto	4.000 m ³ de óleo diesel
Fevereiro/2004	Guaecá – S. Sebastião (SP) Vegetação, rio, praia	Rompimento de oleoduto Linha S. Sebastião-Cubatão	300 m ³ de petróleo
Novembro/2005	Rio Negro (AM)	Transporte marítimo Naufrágio de barçaça próximo de Manaus	Não estimado Óleo combustível
Abril/2008	Baía de Todos os Santos Rio, mar e praias	Refinaria Bahia Vazamento interior da refinaria	Não estimado Mistura oleosa
Janeiro/2009	Acre Rio Purus	Transporte Aquaviário Vazamento de embarcação	25.000 L de óleo diesel
Junho/2009	Rio Negro (AM)	Transporte Aquaviário Naufrágio de embarcação	5.000 L de óleo diesel
Janeiro/2011	Cubatão (SP) Contaminação do Rio Cubatão	Refinaria Extravasamento de tanque de resíduo oleoso	Não estimado

Este trabalho está inserido no Projeto CARTAS SAO - BACIA DE PELOTAS, uma parceria com a FURG e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) que visa à elaboração do Atlas de Sensibilidade Ambiental da Bacia de Pelotas. O Programa de Recursos Humanos nº 27 da Agência Nacional do Petróleo da FURG possui alguns bolsistas atuando neste projeto buscando complementar a atual metodologia das Cartas SAO.

2. Área de Estudo

O Delta do rio Jacuí (Figura 1) é o encontro dos rios Gravataí, Sinos, Caí e Jacuí, cujas águas formam o rio Guaíba. O delta é composto de canais, baías rasas, ilhas fluviais e áreas continentais com banhados, florestas aluviais, várzeas e campos sujeitos a inundações periódicas. Algumas ilhas do delta possuem ocupação urbana e ribeirinha, além de atividade pesqueira. Esta área está inserida na região metropolitana de Porto Alegre sendo de grande importância econômica para o Rio Grande do Sul.

Em 1976 foi criado o Parque Estadual Delta do Jacuí (PEDJ) com o objetivo de preservar as ilhas do delta por seu valor cultural, ecológico e paisagístico, em meio a uma região densamente urbanizada. A região desde 2005 também comporta uma Área de Proteção Ambiental Estadual Delta do Jacuí nas áreas do entorno do parque. O parque hoje abrange uma área de 14.242 ha. e a APA, 8.584ha. englobando áreas dos municípios de Porto Alegre, Canoas, Nova Santa Rita, Triunfo e Eldorado do Sul.

A importância do PEDJ está na conservação de uma grande extensão de áreas úmidas e suas funções nos ciclos químicos e hidrológicos, contribuindo com a manutenção da dinâmica hídrica do delta, amenizando as enchentes e as consequências da estiagem. Além de ser indispensável para milhares de seres vivos como local de alimentação, abrigo, sítios de reprodução e berçário.

A região possui tráfego diário de navios carregados de derivados de petróleo para o Polo Petroquímico de Triunfo, terminal de Santa Clara. Este polo funciona desde a década de 70 e produz derivados como resinas termoplásticas, elastômeros, solventes, entre outros. A matéria prima para estes produtos chega principalmente através do terminal fluvial e de um duto vindo da Refinaria Alberto Pasqualini em Canoas. Além destas embarcações, o tráfego destinado aos portos de Cachoeira do Sul, Estrela, Porto Alegre e alguns terminais privados do estado também se deslocam pela área.

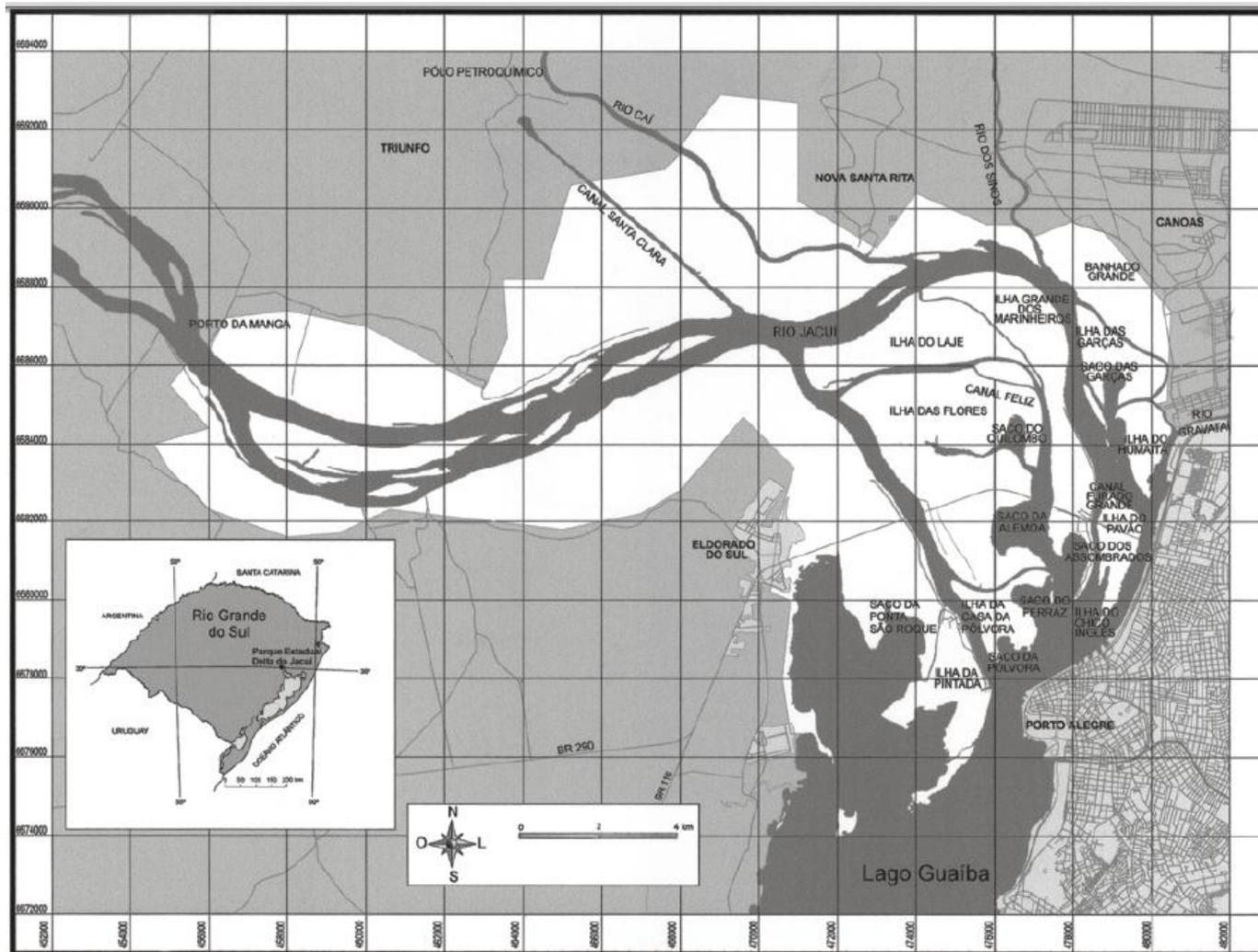


Figura 1: Mapa do Parque Estadual Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul indicando, em fundo branco, a área do parque. Elaborado pelo Laboratório de Geoprocessamento, MCN/FZB, RS. Fonte: Tavares et al., 2003.

Os canais navegáveis do delta são o canal Furado Grande e o canal Principal do Rio Jacuí. Os navios que transportam derivados de petróleo percorrem o canal Furado Grande, bem como a maioria dos navios que trafega pela região. O canal Principal do Jacuí é utilizado por navios tipo Chata que transportam areias ou cereais. As embarcações que percorrem a Lagoa dos Patos, Guaíba e delta do rio Jacuí até o terminal do polo tem capacidade de transporte de 1000 até 6000 toneladas de porte bruto.

O terminal de Santa Clara se comunica com o rio Jacuí através de um canal artificial de 7,5 km de extensão. Conforme o Anuário Estatístico Aquaviário da Agência Nacional de Transportes Aquaviários as cargas transportadas são do tipo granel líquido e carga geral solta (ANTAQ, 2011, 2012, 2013, 2014). O total da movimentação de cargas e o tipo de navegação do terminal nos anos de 2010 até 2013 encontra-se na tabela 7. Este opera com: eteno, propeno, butadieno, benzeno, xileno, tolueno, etil benzeno, estireno, etanol, buteno-1, gasolina, e outros hidrocarbonetos.

Tabela 7: Movimentação de cargas em toneladas por tipo de navegação do terminal de Santa Clara dos anos 2010, 2011, 2012 e 2013. (Fonte: ANTAQ, 2011, 2012, 2013, 2014).

Ano	Longo Curso	Cabotagem	Navegação Interior	Total (t)
2010	149.446	38.220	494.225	681.891
2011	141.518	59.782	516.083	717.382
2012	106.660	31.582	459.539	597.781
2013	71.197	52.570	732.035	855.802

2.1 Clima

A área de estudo está situada na porção Leste do Estado do Rio Grande do Sul, com clima subtropical úmido (*Cfa*, segundo classificação climática de Köppen). A variabilidade sistemática dos elementos do tempo meteorológico ao longo das estações do ano é a principal característica deste clima, isto ocorre pela atuação de massas de ar tropical marítimo, mais frequente na primavera e no verão e massas de ar polar marítimo, que predominam no outono e inverno (ATLAS EÓLICO DO RS, 2002).

O regime de ventos predominante na região é o de nordeste, associado a um anticiclone sobre o Oceano Atlântico, uma massa de ar quente e úmido localizado em

torno de 30 S. No inverno, porém, o aumento da frequência de passagem de sistemas frontais provoca um aumento na frequência da ocorrência de ventos do quadrante sul (MÖLLER *et al.*, 1996). Estes ventos de Sul, se intensos, causam um represamento na descarga do Guaíba na Lagoa dos Patos, gerando um aumento de nível no local e algumas vezes até inversões de fluxos (NICOLODI *et al.*, 2010).

As precipitações são mais acentuadas nas estações de outono e inverno, entre os meses de junho e setembro (UFRGS, 2002). Como a região está situada em áreas com baixas cotas altimétricas, este maior volume das precipitações eleva o nível de forma direta, afetando a população ribeirinha e aumentando a sensibilidade do ambiente ao óleo.

As flutuações do nível do delta dos anos de 2012 a 2014 aparecem na figura 2. São realizadas duas medições diárias na Ilha da Pintada pela Defesa Civil (GADEC, 2014). O gráfico mostra que os níveis mais altos são subsequentes aos períodos de maior precipitação. Os picos no gráfico aliam as altas descargas dos rios ao empilhamento de água que os ventos de quadrante Sul causam no lago Guaíba.

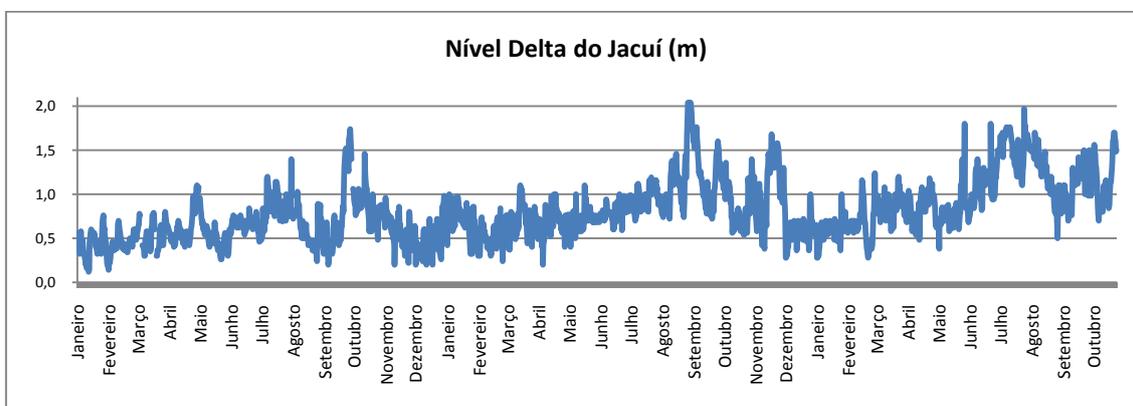


Figura 2: Gráfico com as medições diárias de nível realizada na Ilha da Pintada pela Defesa Civil (2014).

Conforme Nicolodi *et al.* (2010) as variações diárias de nível do Guaíba são causadas pelas oscilações na velocidade do vento. Estes autores ainda afirmam que no período de cheias, as variações de nível são menos sensíveis à velocidade eólica. Enquanto que em períodos normais ou de seca, ventos de aproximadamente 7 m/s podem produzir oscilações superiores a 50 cm.

2.2 Geologia e Geomorfologia

O Delta do rio Jacuí está inserido na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Este é constituído principalmente por sedimentos quaternários do Holoceno, e também por sedimentos terciários e rochas sedimentares pertencentes à bacia do Paraná e ao embasamento cristalino (FZB, 2013). A figura 3 apresenta uma seção geológica do saco de Santa Cruz até a Ilha do Pavão, direção leste-oeste.

Os sedimentos do Quaternário estão associados ao desenvolvimento do sistema de laguna-barreira que caracterizou a evolução da margem costeira e continental da região sul do Brasil. A formação e deposição destes sedimentos foi controlada pelas variações do nível do mar, transgressões e regressões. Estas mudanças determinaram as migrações de cordões litorâneos e de barreiras associadas à formação de lagunas próximas a linha de costa. Esta sedimentação constitui um espesso pacote de sedimentos de granulometria variada, intercalado na forma de camadas e lentes (VILLWOCK & TOMAZZELLI, 1995).

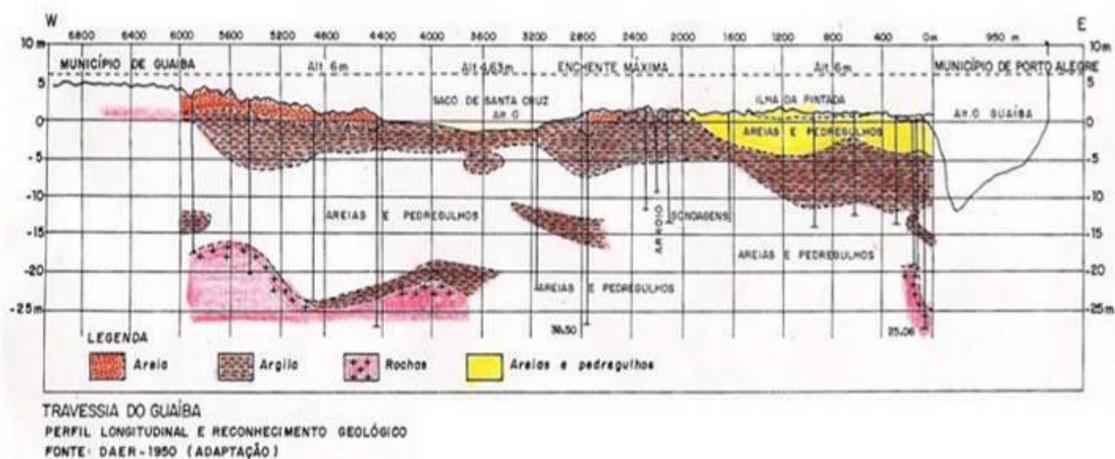


Figura 3: Seção geológica esquemática ao longo do Delta, com direção leste-oeste, na região do saco Santa Cruz e ilha do Pintada (DAER, 1950; In: DELANEY, 1965).

A evolução da Planície Costeira apresentada por Tomazzelli & Villwock (2005) indica que a área de estudo seria constituída por sedimentos associados aos depósitos lagunares pertencentes ao sistema de Barreiras Holocênicas e de retrabalhamento superficial do Sistema Laguna-Barreira III, de idade Pleistocênica. Este sistema está associado a um terceiro evento transgressivo-regressivo, no qual houve a implantação final da Lagoa dos Patos. O Sistema Laguna-Barreira IV, pertencente ao Holoceno, está

relacionado à área atual dos cursos dos rios Jacuí e subordinados, estes sedimentos advêm de depósitos fluviais, lagunares, eólicos, paludiais e deltaicos do período (VILLWOOCK & TOMAZZELLI, 1995).

A área de estudo é composta pelas unidades geomorfológicas Depressão do Rio Jacuí e Planície Lagunar inseridas na Região Geomorfológica da Planície Costeira Interna. Esta região apresenta um relevo plano, com variações altimétricas entre 2 e 19 metros, predominando formas alongadas do tipo coxilhas suaves (FZB, 2013).

Os depósitos do delta resultaram do aporte de sedimentos originário do Sistema Laguna-Barreira IV (VILLWOOCK & TOMAZZELLI, 1995) e de sedimentos vindos dos rios Jacuí, Sinos, Caí e Gravataí. Na região da desembocadura do delta, as informações indicam que a espessura dos sedimentos do Quaternário varia entre 11 e 20 metros na margem oeste do canal final do rio Jacuí e chega a mais de 40 metros no canal principal (GOMES & CARVALHO, 1959, IN: DELANEY, 1965).

Conforme Chiapetti (2005), os rios perdem competência ao encontrarem a massa de água do lago Guaíba, diminuindo a sua energia de transporte. Deste modo, ocorrem grandes taxas de sedimentação de materiais arenosos e argilosos, formando bancos submersos de areia e lama. Os bancos evoluem até constituir ilhas e cordões arenosos recortados e envoltos por diversos distributários. Estas ilhas têm idade Holocênica e em seus interiores são encontrados meandros abandonados, paleocanais e banhados.

2.3 Hidrografia

O Delta do Jacuí está localizado entre as bacias hidrográficas do Baixo Jacuí e do rio Guaíba, na porção leste do estado do Rio Grande do Sul. Sendo que a maior parte da área pertence às bacias do Guaíba (47,35%) e do Baixo Jacuí (27,79%) (FZB, 2013). Os dados do Atlas Ambiental de Porto Alegre (MENEGAT *et al.*, 2006) afirmam que os rios que formam o delta, Caí, Sinos, Gravataí e Jacuí, aportam na região com uma vazão média de 38.000 m³/s, sendo que ao rio Jacuí é atribuído a maior contribuição, 84,6% do volume total. Os rios Caí, Sinos e Gravataí contribuem com 5,2%, 7,5% e 2,7%, respectivamente.

Segundo estudo realizado por Vaz *et al.* (2006) a média anual da descarga do rio Jacuí é 801 m³/s. Estes autores também calculam que a vazão média anual dos demais rios deste complexo (Sinos, Caí e Gravataí) é de aproximadamente 230 m³/s já que os rios Jacuí e Taquari contribuem com 85% do volume introduzido através do rio Guaíba.

A região está inserida no Sistema Hidrográfico da Laguna dos Patos, que possui como principais massas d'água a laguna dos Patos e as lagoas Mirim e Mangueira e, como principais tributários, além do rio Jacuí, os rios Camaquã e Jaguarão. Dentro deste sistema, a área faz parte da Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba (figura 4), constituída por nove unidades hidrográficas: Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Caí, Gravataí, Lago Guaíba, Pardo, Sinos, Taquari-Antas, e Vacacaí-Vacacaí Mirim. Segundo a FEPAM (2013) esta região abrange uma área de drenagem de 30% da área total do estado.

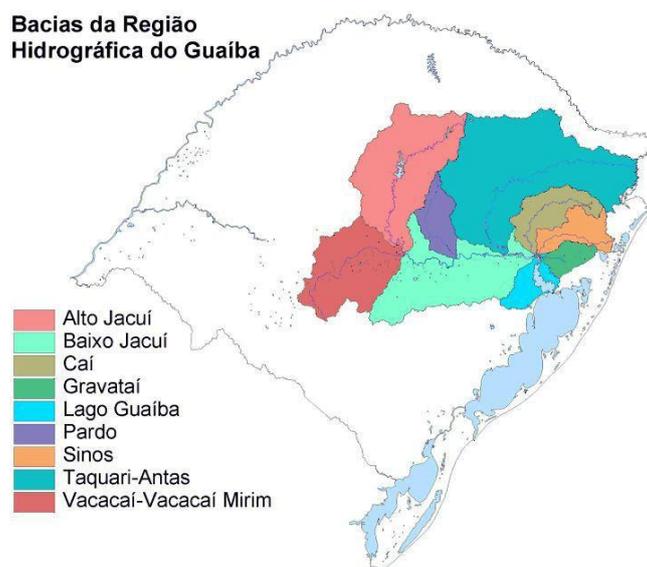


Figura 4: Representação das nove bacias da região hidrográfica do Guaíba. (Fonte: FEPAM, 2013)

2.4 Vegetação

A região deltaica do rio Jacuí é formada por áreas úmidas, caracterizadas pela variedade de comunidades vegetais e animais que diferem na composição e riqueza de espécies. São importantes habitat para inúmeras espécies ameaçadas de extinção (FZB, 2013). Muitos animais utilizam sazonalmente os banhados como berçário para

seus filhotes, alguns filotes necessitam de uma fase aquática para reprodução e crescimento, enquanto outros grupos aproveitam os ambientes úmidos para forrageamento.

A cobertura vegetal natural da região do delta é constituída por florestas e por banhados. As tipologias de formações vegetais são a Região Fitoecológica da Floresta Estacional Semidecidual Aluvial e a Área Ecológica das Formações Pioneiras (Oliveira, 1998). As formações pioneiras de influência fluvial são subdivididas em:

- Formação arbustiva-arbórea – Maricazal;
- Formações arbustivas e herbáceas – Banhados:
 - Formação arbustiva-herbácea < 5m - Sarandizal, Corticeiral;
 - Formação herbácea alta > 2m - Capinzal, Juncal;
 - Formação herbácea baixa < 1m - Campo inundável, Camalotal.

Segundo Oliveira (2007), a mata aluvial é encontrada sobre os diques marginais e os cordões aluviais internos, antigos diques interiorizados pelos processos de sedimentação deltaica. A composição florística das florestas é constituída por elementos migratórios da floresta da bacia dos rios Paraná e Uruguai, apresentando poucas espécies pertencentes à Floresta Atlântica do sul do Brasil (FZB, 2013). A vegetação possui porte arbóreo entre 12 a 15 metros de altura normalmente.

As formações pioneiras são as vegetações que se estabelecem sobre depósitos aluviais, areias e sedimentos siltico-argilosos de planícies de inundação, terraços e depósitos de calha da rede fluvial, assim como sobre depósitos inconsolidados, areias e cascalhos de caráter flúvio-lacustre (TEIXEIRA *et al.*, 1986). Segundo os trabalhos de Oliveira (1998, 2007), nas bacias de decantação a vegetação é tipicamente de banhado e varia em composição de espécies e fisionomicamente de acordo com a profundidade e o tempo de permanência da água no solo. Estas bacias são o ambiente de sedimentação constituído por depressões no interior das ilhas ou por amplas áreas úmidas na porção continental do delta.

O estudo de Oliveira (1998) relacionou a ocorrência de comunidades vegetais com fatores físicos e químicos do solo e os fluxos horizontais, provenientes da

dinâmica das águas na área do PEDJ. A autora concluiu que a diversidade das comunidades vegetais está condicionada às características edáficas, relacionadas aos gradientes de topografia, umidade e encharcamento do solo, resultantes da dinâmica fluvial da região. A figura 5 ilustra em um corte perpendicular a distribuição espacial das espécies e das comunidades vegetais no norte da ilha das Flores, as áreas mais elevadas correspondem aos diques marginais e aos paleodiques, interiorizados pela sedimentação.

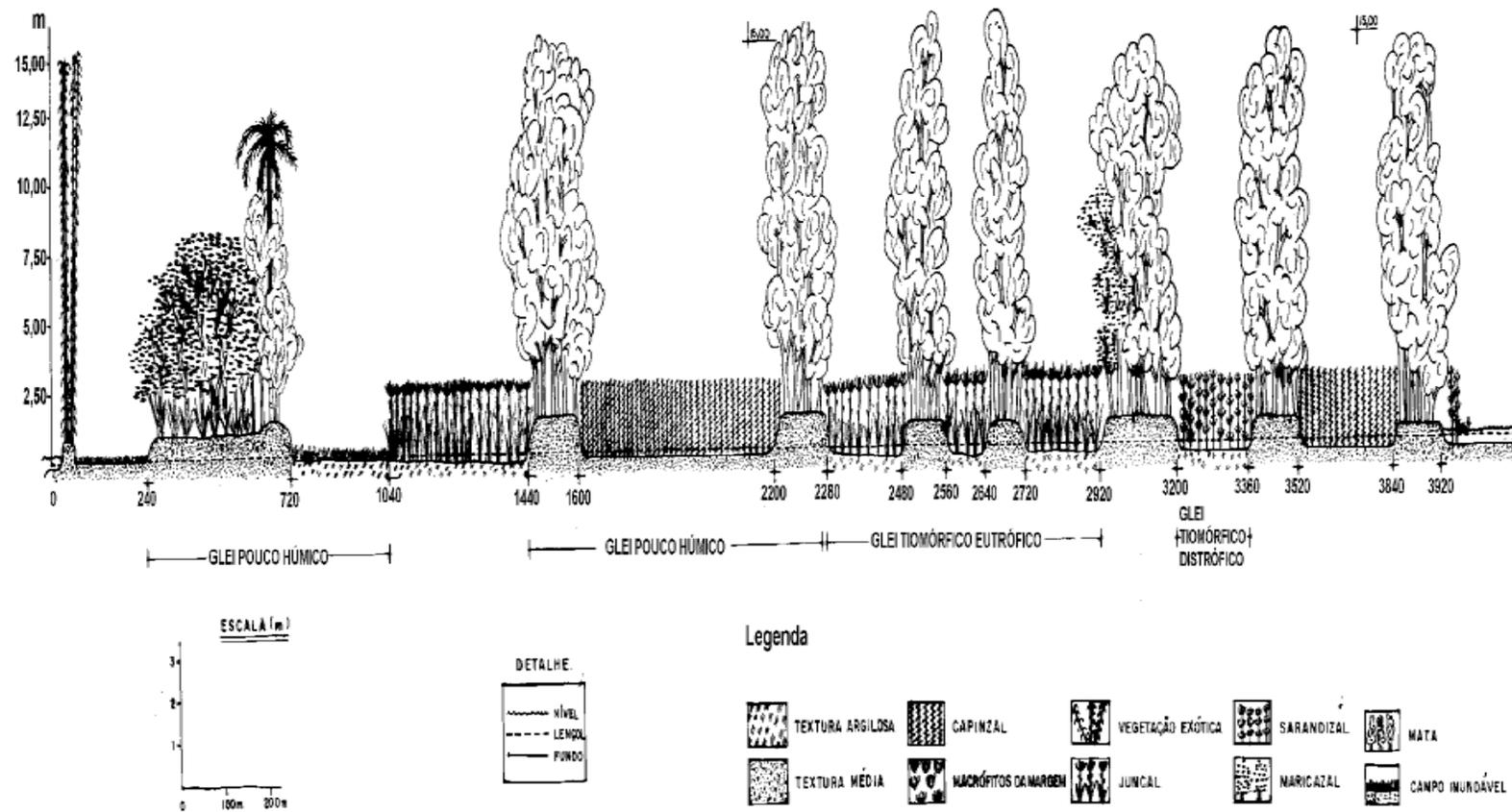


Figura 5: Perfil ambiental esquemático com a seqüência da vegetação na Ilha das Flores (Oliveira, 1998).

Capítulo II – Corpo Principal

O artigo elaborado será submetido ao periódico Ambiente & Sociedade, uma publicação quadrimestral nacional. Escolheu-se este periódico pelo foco interdisciplinar e regional do trabalho concebido, entendendo que assim o estudo desenvolvido teria uma boa abrangência e acesso. Pela classificação da CAPES a área interdisciplinar da revista possui conceito A2. O manuscrito apresentado já segue o padrão exigido pela revista.

ÍNDICE DE SENSIBILIDADE AO ÓLEO EM AMBIENTES FLUVIAIS, APLICADO AO DELTA DO RIO JACUÍ, RS

Marilia Kabke Wally¹; João Luiz Nicolodi¹

¹ Laboratório de Oceanografia Geológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, Avenida Itália, Km 08 Rio Grande – RS

1. Introdução

Há um risco inerente durante o transporte de combustíveis fósseis de que, derramamentos de óleo e derivados possam ocorrer causando danos aos ambientes. O ambiente fluvial sofre diariamente com este risco através de acidentes com navios, trens, caminhões e até dutos. Estes derrames causam impactos sobre a vida aquática, atingindo também atividades socioeconômicas, como a pesca e o turismo. No ano 2000 cerca de 4 milhões de litros de óleo cru atingiram o rio Barigüí e o rio Iguaçu no Paraná trazendo grandes impactos econômicos e ecológicos para a região, este vazamento originou-se em um duto na Refinaria Getúlio Vargas em Araucária, Paraná (MELO *et al.*, 2003).

O Brasil através de convenções internacionais mantém o compromisso de possuir uma estrutura nacional de combate à poluição por óleo, através da prevenção, controle e fiscalização para a proteção do ambiente marinho. A partir da lei 9.966 (BRASIL, 2000), portos organizados, plataformas e demais instalações portuárias devem possuir planos de emergência para combate à poluição por óleo e substâncias nocivas ou perigosas. Este plano consiste do conjunto de ações de resposta desencadeadas imediatamente após o incidente. Um dos instrumentos deste plano são as Cartas de Sensibilidade ao Óleo – Cartas SAO, elaboradas para as áreas em risco de serem atingidas em caso de derrame de óleo.

Em 2013, o Ibama registrou 195 acidentes ambientais nas rodovias brasileiras, 101 em ferrovias, 81 em plataformas, 61 em embarcações, 59 em indústrias, 32 em dutos, 28 envolvendo armazenamento ou depósito de produtos perigosos, 14 em portos e terminais, 10 em postos de combustíveis, 8 em barragens, e 5 em refinarias, todos envolvendo produtos perigosos (IBAMA, 2014). Estes dados mostram que, em várias etapas da produção e logística do petróleo e derivados, os imprevistos acontecem. Segundo o relatório do Ibama (2014), acidentes envolvendo derivados de petróleo e combustíveis estiveram

envolvidos na maioria dos casos registrados em todos os anos analisados. O tipo de acidente ambiental “derramamento de líquidos” tem sido o evento mais registrado desde 2006, sendo que em 2013 registrou-se 377 ocorrências (51,5% do total de registros).

Para a orientação a resposta em casos de acidentes, tem-se como instrumento oficial as Cartas SAO. Elas fornecem subsídios necessários à tomada de decisões imediatas sobre prioridades de proteção e definição da estratégia de controle mais adequada a cada situação específica. As Cartas SAO são elaboradas conforme o documento oficial “Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derrames de Óleo” (MMA, 2007), desenvolvido para ambientes costeiros ou marinhos. Contudo, os rios e regiões estuarinas possuem características geomorfológicas e hidrodinâmicas distintas desses e deste modo não são classificados de modo apropriado.

A sensibilidade é classificada por meio do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), que leva em consideração as características geomorfológicas, como o grau de exposição à energia de ondas e marés, a declividade do litoral e o tipo do substrato. A escala varia de 1 a 10 em um grau crescente de sensibilidade. A geomorfologia é determinante para o tipo e a densidade das comunidades biológicas presentes na área. Nas cartas também são indicados os recursos biológicos e as atividades socioeconômicas das regiões assim como estradas, *píers* e demais pontos de apoio importantes para a logística de resposta à emergência.

O grau de exposição de ondas e marés está principalmente relacionado ao tempo de permanência do óleo. Ambientes expostos, ou seja, de alta energia tendem a sofrer limpeza natural em menor tempo do que ambientes abrigados. A amplitude das marés também interfere na superfície que pode ser coberta por óleo devido aos níveis que variam entre a maré baixa e a maré alta, esta característica pode ser relacionada aos efeitos de variações de nível nos rios como cheias e secas.

A declividade do litoral atua na extensão da zona afetada e no tempo de permanência do óleo. Isto acontece porque a inclinação da face de praia influencia na reflexão e quebra das ondas, praias com maior declividade possuem elevadas velocidades de espreadimento e retorno proporcionando uma

limpeza natural em curto espaço de tempo. Costas com declividades baixas permitem o estabelecimento de comunidades biológicas e possuem menores níveis de energia para limpeza natural do óleo, ocasionando um tempo maior de permanência e uma sensibilidade biológica maior.

Os tipos de substrato afetam a sensibilidade em vários aspectos como mobilidade e permeabilidade do sedimento, permanência do óleo e a trafegabilidade. Sedimentos grossos, como cascalho, possuem uma maior permeabilidade e, portanto uma maior penetração do óleo, os sedimentos lamosos tendem a ser saturados em água, assim a penetração do óleo é muito limitada. Praias de areia fina são compactas e permitem o tráfego de equipamentos de limpeza e proteção, contudo em ambientes lamosos e vegetados estes equipamentos não devem ser utilizados pelo impacto que causam sobre a comunidade vegetal.

Os mapeamentos das áreas sensíveis a derramamento de óleo foram criados e implantados em regiões costeiras na década de 70 nos Estados Unidos (MICHEL *et al.*, 1994). O trabalho de Gundlach & Hayes (1978) criou o primeiro índice de sensibilidade ambiental associando as características morfológicas do ambiente e a capacidade de autolimpeza. Em um primeiro momento, as regiões fluviais e lacustres foram classificadas com ajustes nos métodos para áreas costeiras: o Canadá mapeou regiões lacustres fazendo uma adaptação do modelo de persistência do óleo marinho para os Grandes Lagos; os Estados Unidos extrapolaram o índice de sensibilidade ambiental marinho para classificarem os principais rios (MICHEL *et al.*, 1994).

Os primeiros trabalhos que abordam a problemática da metodologia para a sensibilidade fluvial são os de Adams *et al.* (1983) e Baca *et al.* (1985). O estudo de Adams englobou tanto ambientes marinhos como fluviais, classificando a sensibilidade ambiental através de tempo de recuperação dos habitats, persistência do óleo, importância das espécies, singularidade dos habitats e grau de danos ao habitat com a limpeza. Os efeitos dos derrames em águas doces foi o foco de Baca *et al.* que descreveu ambientes de grandes rios e ambientes de águas paradas diferenciando suas características e impactos.

O índice fluvial utilizado pela NOAA nos mapeamentos de grandes rios foi proposto com o trabalho de Hayes *et al.* (1995). Esta classificação foi

desenvolvida baseada no entendimento dos processos geomorfológicos e físicos, uma vez que os estudos de derrames neste tipo de meio era limitado. Os autores ressaltam a importância de diferenciar ambientes com vegetação herbácea, como as gramíneas, da vegetação lenhosa, como arbustos e árvores. Com algumas atualizações os Estados Unidos utilizam esta classificação fluvial no manual oficial (NOAA, 2002), além de apresentarem índices próprios para regiões lacustres e estuarinas.

Uma nova abordagem foi lançada também em Hayes *et al.* (1995) contemplando a sensibilidade das bacias hidrográficas à montante dos grandes rios mapeados por índices fluviais, englobando pequenos rios e córregos. Este estudo foi continuado em Hayes *et al.* (1997) e aplicado em Porto Rico (ZENDEL *et al.*, 2001).

A Environmental Protection Agency (EPA), dos Estados Unidos, em conjunto com algumas comissões de bacias hidrográficas lançaram um manual de referência para Atlas de Sensibilidade Interior (EPA, 2000), que além de contemplar margens fluviais integra essas informações com as dutovias, fontes potenciais de derramamentos, locais estratégicos para resposta nas regiões, entre outros fatores. A classificação da linha de costa é baseada no método utilizado pela NOAA, mas foi simplificada em quatro índices:

1. Baixa sensibilidade (áreas urbanas ou desenvolvidas, costões rochosos, enrocamentos e barreiras de concreto);
2. Baixa-média sensibilidade (praias de areia e cascalho);
3. Média-alta sensibilidade (planícies de maré e bancos íngremes com vegetação baixa);
4. Alta sensibilidade (mangues e pântanos).

No Brasil, o foco principal dos mapeamentos também são as regiões costeiras e marinhas. Estudos desenvolveram adaptações dos métodos buscando melhor adequá-los ao litoral do país (ANDRADE *et al.*, 2010; CANTAGALLO *et al.*, 2008; MULER *et al.*, 2011; PINCINATO *et al.*, 2009; SOUZA FILHO *et al.*, 2009; WIECZOREK *et al.*, 2007). Outros trabalhos têm surgido incorporando novos ambientes para a sensibilidade ao óleo como mapeamento em faixa de dutos (MENDES *et al.*, 2005) e índice de sensibilidade ambiental terrestre (MARTINS *et al.*, 2014).

O ambiente fluvial já foi alvo de estudo específico pela Petrobras que mapeou a sensibilidade da região amazônica e desenvolveu um ISL próprio (ARAÚJO *et al.*, 2006). Contudo, o ISL da região Amazônica não se aplica as demais regiões fluviais do Brasil por esta possuir um ecossistema único e condições climáticas distintas de grande parte do país (SOUZA FILHO *et al.*, 2009). No rio Canhanduba (SC), Ferreira & Beaumord (2008) aliaram Protocolos para Avaliação Rápida de Integridade de Rios e Riachos com uma adaptação das tabelas padrão de ISL do MMA incluindo características físicas do corpo da água como, correntes fluviais, profundidade média do trecho, entre outras, e também as características físicas das margens como altura média.

O local escolhido para o desenvolvimento do presente estudo foi o Delta do Rio Jacuí (RS), região que abrange movimentação portuária como o terminal fluvial do polo petroquímico de Triunfo e uma área de alta sensibilidade ambiental como as ilhas e canais que formam o delta. Nesta região há tráfego frequente de embarcações tanto para o polo quanto para os demais terminais portuários do estado do Rio Grande do Sul. O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver índices de sensibilidade ao óleo em ambientes fluviais, aplicado à região do delta do rio Jacuí, RS. A partir de uma classificação condizente com o ambiente, pretende-se contribuir com o arcabouço de informações necessárias para resposta a emergências, otimizando esforços e minimizando os impactos.

2. Área de Estudo

O Delta do rio Jacuí (figura 6) é formado pelo encontro dos rios Gravataí, Sinos, Jacuí e Caí, cujas águas formam o lago Guaíba. Ele está localizado entre as bacias hidrográficas do Baixo Jacuí e do lago Guaíba, na porção leste do estado do Rio Grande do Sul. O delta é composto de canais, baías rasas, ilhas fluviais e áreas continentais com banhados, florestas aluviais, várzeas e campos sujeitos a inundações periódicas. Algumas ilhas do delta possuem ocupação urbana e ribeirinha, além de atividade pesqueira. Esta área está inserida na região metropolitana de Porto Alegre sendo de grande importância econômica para este estado.

O delta está inserido na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (VILLWOCK & TOMAZZELLI, 1995), constituído principalmente por sedimentos

quaternários do Holoceno, e também por sedimentos terciários e rochas sedimentares pertencentes à bacia do Paraná e ao embasamento cristalino. A evolução da Planície Costeira apresentada por Tomazzelli & Villwock (2005) indica que a área de estudo seria constituída por sedimentos associados aos depósitos lagunares pertencentes ao sistema de Barreiras Holocênicas e de retrabalhamento superficial do Sistema Laguna-Barreira III e do Sistema Laguna-Barreira IV.

O clima da região é o subtropical úmido com ventos predominantes de nordeste. As precipitações são mais acentuadas nas estações de outono e inverno, entre os meses de junho e setembro. Com a passagem de sistemas frontais ventos intensos do quadrante Sul causam represamento na descarga do Guaíba na Lagoa dos Patos. Estes eventos geram um aumento de nível no lago e algumas vezes até inversões de fluxos (MÖLLER *et al.*, 1996; NICOLODI *et al.*, 2010). As flutuações do nível do delta são relacionadas ao efeito do vento e aos períodos de maior ou menor descarga.

Em 1976 foi criado o Parque Estadual Delta do Jacuí (PEDJ) com o objetivo de preservar as ilhas do delta por seu valor cultural, ecológico e paisagístico, em meio a uma região densamente urbanizada. A região desde 2005 também comporta uma Área de Proteção Ambiental Estadual Delta do Jacuí (APAEDJ) nas áreas do entorno do parque. O parque hoje abrange uma área de 14.242 ha. e a APA, 8.584ha. englobando áreas dos municípios de Porto Alegre, Canoas, Nova Santa Rita, Triunfo e Eldorado do Sul.

A importância do PEDJ está na conservação de uma grande extensão de áreas úmidas e suas funções nos ciclos químicos e hidrológicos, contribuindo com a manutenção da dinâmica hídrica do delta, amenizando as enchentes e as consequências da estiagem. Além de ser indispensável a milhares de seres vivos como local de alimentação, abrigo, sítios de reprodução e berçário.

A região possui tráfego diário de navios carregados de derivados de petróleo para o Polo Petroquímico de Triunfo, terminal de Santa Clara. Este polo funciona desde a década de 70 e produz derivados como resinas termoplásticas, elastômeros, solventes, entre outros. A matéria prima para estes produtos chega principalmente através do terminal fluvial e de um duto vindo da refinaria Alberto Pasqualini.

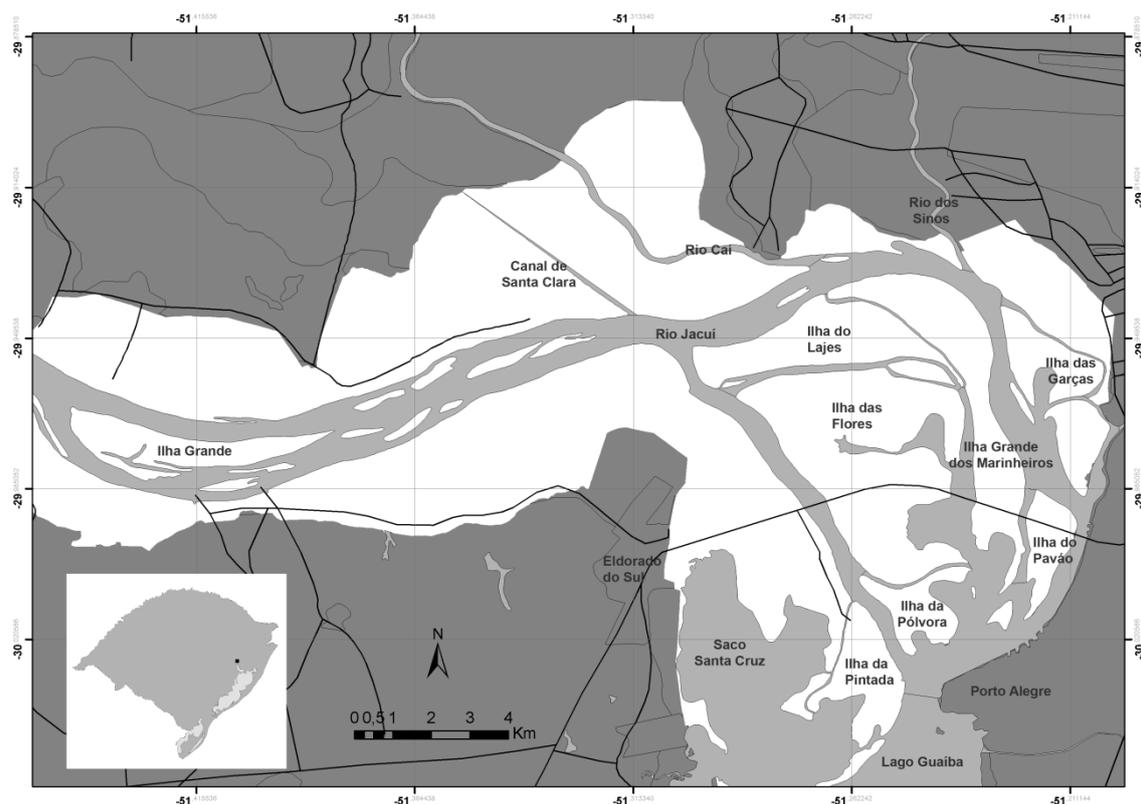


Figura 6: Mapa de localização do Delta do Rio Jacuí indicando, em fundo branco, a área do Parque Estadual e da Área de Preservação Ambiental.

O terminal de Santa Clara se comunica com o Rio Jacuí através de um canal artificial de 7,5 km de extensão. Conforme o Anuário Estatístico Aquaviário da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2013), o terminal trabalha com as cargas do tipo granel líquido e carga geral solta que chegam através de navegações de longo curso, cabotagem e navegação interior. Ele opera atualmente com: eteno, propeno, butadieno, benzeno, xileno, tolueno, etil benzeno, estireno, etanol, buteno-1, gasolina, e ainda outros hidrocarbonetos.

3. Desenvolvimento da Metodologia

Para o desenvolvimento de uma classificação compatível com as características do ambiente fluvial, a metodologia de trabalho foi concebida em quatro etapas, a saber:

- a) Primeira etapa: identificação da existência e aplicação de mapeamentos de sensibilidade ao óleo em ambiente fluvial;

- b) Segunda etapa: sistematização das características do ambiente fluvial em estudo;
- c) Terceira etapa: definição de critérios para classificar os ambientes conforme a sensibilidade que apresentam;
- d) Quarta etapa: proposição de um índice de sensibilidade ao óleo próprio para a região do Delta do Rio Jacuí.

3.1. Primeira Etapa

Nesta etapa, foi realizada a sistematização das informações bibliográficas, possibilitando conhecer as metodologias para sensibilidade ao óleo empregadas em regiões costeiras e fluviais, no Brasil e em outros países. A busca foi realizada através do portal de periódicos da CAPES com as plataformas Science Direct, BioOne e Web Of Science além do Google e do Google acadêmico. A procura por legislações de outros países foi feita através do Google. Ambas as buscas utilizaram palavras-chave sobre o tema em inglês e português.

As metodologias selecionadas como base para elaboração do índice proposto aparecem listadas na tabela 8. Estes trabalhos incluem características geomorfológicas, feições características, comportamento potencial do óleo e ações de resposta voltados para o ambiente fluvial.

Conforme o índice da NOAA (2002), a metodologia desenvolvida levou em conta os diferentes tipos de vegetação encontrados nas margens de rios, considerando os parâmetros como altura, composição e densidade das espécies. Além disto, as feições geomorfológicas também auxiliaram na determinação da sensibilidade do litoral, como a presença ou não de barrancos formados pelas diferenças de nível. Alguns outros trabalhos apontaram fatores secundários para o índice desenvolvido, como Hayes *et al.* (1997) que incluiu a acessibilidade para contingência, fluxo do rio e presença córregos como importantes fatores para a classificação da sensibilidade das margens. Algumas classes utilizadas na metodologia oficial do MMA (2007) foram adaptadas para a realidade do ambiente fluvial.

Tabela 8: Trabalhos selecionados como base para o método em estudo.

Título	Autores	Ano
Identifying mapping sensitive resources for inland area planning	Miles O. Hayes; Jacqueline Michel; Jeffrey A. Dahlin	1995
The reach sensitivity index (RSI) for mapping rivers and streams	Miles O. Hayes; Jacqueline Michel; Todd M. Montello	1997
Inland Sensitivity Atlas - Reference Manual	Environmental Protection Agency – United States	2000
Environmental Sensitivity Index Guidelines - Version 3.0	National Oceanic and Atmospheric Administration – United States	2002
Sensitivity of Estuarine and Riverine Environments and Wildlife to Spilled Oil Columbia River Atlas	National Oceanic and Atmospheric Administration – United States	2004
Hudson River Resource Atlas	National Oceanic and Atmospheric Administration – United States	2006
Mapas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo: Ambientes costeiros, estuarinos e fluviais	Solange Irene de Araujo; Gabriel Henrique da Silva; Dieter Muhe	2006
Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo	Ministério do Meio Ambiente - Brasil	2007

3.2. Segunda Etapa

Esta etapa consistiu no levantamento de dados da região do Delta do Rio Jacuí e do Polo Petroquímico de Triunfo. A busca por trabalhos publicados sobre a região foi realizada de modo semelhante à primeira etapa, utilizando o portal de periódicos da CAPES e o Google.

Também foram realizadas saídas de campo para aquisição de dados quanto à geomorfologia e hidrodinâmica da região. Para facilitar o reconhecimento no campo uma pré-classificação do ambiente foi elaborada, através da observação de imagens de satélite disponíveis. Estas saídas foram executadas a bordo de uma embarcação pesqueira alugada no âmbito do projeto “Mapeamento de Sensibilidade ao óleo da Bacia de Pelotas” com tomada de fotografias georreferenciadas e anotações das margens em estudo, obtendo as características das mesmas.

Em junho de 2013, foi realizado o primeiro embarque no delta, neste reconhecimento foi observado que as vegetações presentes nas margens eram distribuídas em 4 grupos distintos. Um novo embarque aconteceu em agosto de 2014 com o intuito de confirmar a classificação idealizada e também fazer um reconhecimento do delta com níveis hidrológicos diferentes.

3.3. Terceira Etapa

Elencar os parâmetros quanto à sensibilidade ambiental, espécies mais ou menos sensíveis ao óleo, dificuldade para contenção e remoção do óleo foi a tarefa primordial da terceira etapa. Esta etapa compreendeu a revisão bibliográfica e conversas com especialistas, possibilitando ordenar os ambientes mais e menos sensíveis.

O Plano de Manejo do Parque Estadual do Delta do Jacuí, elaborado pela Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (FZB, 2013), foi uma ferramenta importante para a classificação dos ambientes. O Mapa de Uso e Cobertura do PEDJ e APAEDJ, também incluso no plano de manejo, complementou as informações das saídas de campo.

3.4. Quarta Etapa

Esta etapa consolidou a importância deste trabalho concluindo o Índice de Sensibilidade do Litoral Fluvial (ISLF). Nesse ponto foi montada a escala hierárquica das classes de ISLF para a região de estudo: definindo o tipo de margem, descrevendo as características do ambiente e o comportamento potencial do óleo. O índice proposto seguiu como base a classificação da NOAA e do MMA, escala de 1 a 10 sendo crescente a sensibilidade, facilitando assim a comparação e aplicação do método.

Os índices foram montados levando em consideração os processos físicos ativos e a geomorfologia dos rios como salienta Hayes *et al.* (1995). Os mapeamentos realizados pela NOAA (2004; 2006) ressaltam que os critérios como tipo de substrato e declividade da margem são imprescindíveis para prever como o óleo irá impactar o ambiente, já que afetam a permeabilidade e o tempo de permanência do poluente. A diferenciação das características de derrames de óleo apresentado em Baca *et al.* (1985) para ambientes de água doce de alta ou baixa energia ajudou na definição dos ambientes com maior sensibilidade.

A vegetação encontrada no Delta do Rio Jacuí segundo estudo realizado por Oliveira (2007) possui interação com os processos de sedimentação deltaica. Sendo as matas aluviais encontrada sobre os diques marginais e os banhados, nas planícies de inundação e depósitos de calha da rede fluvial. Estas informações permitem inferir no alcance e permeabilidade que o óleo terá nas feições fluviais. Outro ponto importante em relação ao tipo de vegetação associada às margens é que as plantas herbáceas e arbustivas são mais sensíveis ao óleo que a vegetação de porte lenhoso (BACA *et al.*, 1985; HAYES *et al.*, 1995).

4. Resultados e Discussão

As principais variáveis consideradas na composição do índice foram substrato, declividade da margem e tipo de vegetação associada (composição da margem vegetada), já que estas interferem diretamente no comportamento do óleo quando este encontrar a margem do rio. A sensibilidade do ambiente aumenta conforme cresce a produtividade biológica e diminui a declividade e a energia do fluxo da água.

Os índices da NOAA (2002) e MMA (2007) também utilizam o grau de exposição à energia de ondas e marés, além da declividade da margem e o tipo do substrato, como variáveis para compor a sensibilidade. A classificação da NOAA adiciona o fator “Sensibilidade e Produtividade Biológica” como determinante para os índices propostos. Os ambientes vegetados, como marismas, banhados e mangues, possuem as maiores sensibilidades devido aos potenciais impactos de longo prazo resultantes tanto da exposição ao óleo

quanto aos danos associados às atividades de limpeza destes habitat (NOAA, 2002).

Nas cartas desenvolvidas pela NOAA como a do Rio Hudson (NOAA, 2006) e Rio Columbia (NOAA, 2004) foram elencados, no texto de apresentação do mapeamento da linha de costa, os fatores já mencionados, mas também a facilidade de limpeza como uma variável importante para integrar a sensibilidade do ambiente. A limpeza do ambiente está relacionada ao tempo que o óleo ficará impactando o ambiente além do possível soterramento durante os procedimentos.

O tipo da vegetação influencia em como o óleo vai penetrar nos sedimentos e também na dificuldade da contenção e remoção já que há diferentes espécies de plantas que cobrem as margens. Em sistemas deltaicos, ou rios de planície, a ocorrência de distintos habitat aquáticos e transicionais propicia a manutenção de uma considerável biodiversidade (THOMAZ *et al.*, 1997). A vegetação do Delta do Jacuí é dividida em dois tipos de ambientes naturais: florestas e banhados. Nas margens, os dois grupos são encontrados, mas os banhados cobrem as maiores áreas. Além disto, os banhados são mais sensíveis ao óleo pela estrutura e porte das plantas, como também pela importância ecológica de serem berçário e fonte de alimentos para a fauna local.

O tipo do substrato determina a permeabilidade e mobilidade do sedimento, características estas que formam a estrutura básica que define os tipos de comunidades biológicas que podem existir em determinado local (MMA, 2007). Substratos permeáveis tendem a um maior tempo de permanência já que penetração do óleo é maior. A mobilidade do sedimento pode diminuir a permanência do óleo ou, ao contrário, incorporá-lo aos estratos sedimentares inferiores.

A declividade está relacionada ao alcance que o óleo terá quando chegar à margem, ambientes mais planos como praias ou bancos vegetados tendem a uma maior área afetada do que escarpas e estruturas artificiais. Em ambientes expostos, a declividade influencia diretamente na reflexão e quebra das ondas determinando assim, o tempo de permanência do óleo e capacidade de limpeza natural do local atingido. Segundo NOAA (2002) em ambientes protegidos a declividade é uma distinção menos importante para o impacto do

óleo, exceto quando as comunidades biológicas possuem maior área para se desenvolverem, como é o caso do delta do rio Jacuí.

O nível do rio também influencia na sensibilidade do ambiente ao óleo, em níveis mais altos o óleo alcançará maiores áreas, dificultando a contenção e limpeza. Como regra, em alto nível do rio a sensibilidade aumenta já que as praias, escarpas, muros e demais margens podem estar submersas e o óleo chegar direto na vegetação do delta. O parâmetro relacionado ao nível é a declividade do substrato já que quanto menor for a inclinação da margem, maior será o alcance do óleo.

Os ambientes deltaicos são influenciados diretamente pela descarga dos rios que os formam. Além da descarga outro fator importante para o Delta do Rio Jacuí é o efeito do vento empilhando a água do Guaíba, ocasionando um aumento do nível das águas no local (NICOLODI *et al.*, 2010). Normalmente os maiores níveis do Guaíba ocorrem dos meses de junho até outubro, condicionados pela alta precipitação nas bacias hidrográficas. Os eventos de máximo nível estão relacionados à alta descarga com eventos de frente fria que barram o deságue do Guaíba.

A saída de campo para o mapeamento em 2013 foi realizada em maio com o nível de 0,78m pela régua na Ilha da Pintada, um nível médio levando em conta as médias históricas (GADEC, 2014). A saída realizada em agosto de 2014 apresentava um elevado nível do rio com 1,44m na Ilha da Pintada, mudando consideravelmente o cenário da classificação anterior. Em julho este nível alcançou 1,97m, a marca mais alta do ano.

O fluxo do rio também é um fator importante porque atua sobre a dinâmica da mancha de óleo. Se o fluxo for grande, espalhará a mancha a jusante espalhando a contaminação, se a energia for pequena, o óleo ficará mais tempo impactando o mesmo local. A hidrodinâmica do ambiente fluvial também afeta a capacidade de autolimpeza e a persistência do óleo no ambiente. Na resposta à emergência, baixos fluxos auxiliam a contenção e retirada do óleo do ambiente. Como a área de estudo é um ambiente deltaico ocorre uma diminuição do fluxo do rio que favorece a sedimentação do material carregado formando as ilhas e canais característicos destes ambientes (GURNELL *et al.*, 2012).

Nos canais do interior do delta a sensibilidade é a mais elevada porque além da presença constante de vegetação nas margens, os canais são estreitos e possuem um fluxo de água bem menor que os canais principais. As baixas correntes fluviais permitem substratos de fundo mais estáveis levando a maior diversidade de espécies (FERREIRA & BEAUMORD, 2008). Como no ambiente de estudo a variação do fluxo do rio só difere nestes locais, está variável foi considerada secundária para o ISL proposto.

Para facilitar a compreensão e também a comparação, o índice desenvolvido segue o mesmo princípio do adotado pelo MMA (2007), com ISL crescendo conforme o grau de sensibilidade. Como a região de estudo não possui tantos ambientes distintos, optou-se por não seguir o padrão da NOAA (2002) que hierarquiza com letras (exemplo: A, B, C, etc.) um mesmo índice, assim cada ambiente foi definido com um ISL de 1 até 10.

A classificação criada foi denominada Índice de Sensibilidade ao Litoral Fluvial (ISLF) e encontra-se na tabela 9. Esta tabela foi montada conforme o modelo apresentado no Manual do MMA (2007), o grau de exposição a ondas foi retirado e adaptou-se o parâmetro faixa intermarés por declividade, já que este é um ambiente fluvial. Os índices criados serão detalhados a seguir:

- ISLF 1 – Muros / Estrutura Verticais

O tipo de litoral “Muros / Estrutura Verticais” (figura 7) apresenta substrato impermeável com declividade alta, além de ser uma estrutura artificial. Caracteriza-se por ser um ambiente urbanizado e não possuir comunidades biológicas nas margens, portanto possui baixa importância ecológica. Na região do delta há várias residências nas margens, principalmente no canal principal do rio Jacuí, a maioria conta com muros e rampas para acesso de barcos ao rio.

Neste tipo de ambiente não há penetração do óleo, portanto há baixa permanência deste (MMA, 2007). Apesar de não ser um ambiente exposto como classifica NOAA e MMA, este é o tipo de litoral menos permeável pela estrutura e declividade, maior que 30 graus, que apresentam.

Tabela 9: Tabela de Índice de Sensibilidade do Litoral Fluvial com os principais parâmetros.

Índice de Sensibilidade Litoral (ISLF)	Tipo de Litoral	Declividade	Substrato	
			Tipo	Penetração do óleo
1	Muros / Estruturas Verticais	Alta	Estrutura Artificial	Impermeável
2	Substrato de Declividade Média / Estruturas de Madeiras	Moderada	Estrutura Artificial	Impermeável
3	Escarpas	Moderada/Alta	Areia	Semipermeável
4	Praia Areia Média / Fina	Baixa	Areia	Semipermeável
5	Praia Mista / Areia Grossa	Moderada	Areia, Substrato Rochoso	Permeável
6	Entulhos e Resíduos	Moderada	Areia, Cascalho, Entulho	Permeável
7	Escarpas Vegetadas	Moderada	Areia, substrato rochoso	Penetração limitada
8	Bancos Vegetados	Baixa	Areia Lamosa	Penetração limitada
9	Florestas	Moderada	Detritos de origem aluvial	Permeável / baixa permeabilidade
10	Banhados / Macrófitos de Margem	Baixa	Lamoso	Baixa permeabilidade

○ ISLF 2 – Substrato de Declividade Média / Estruturas de Madeira

Este ISLF foi definido englobando ambientes diversos com substrato impermeável, não vertical (declividade moderada) e estrutura artificial (figura 7). Estruturas de madeiras, mesmo sendo de média ou alta declividade, foram classificadas nesse ISLF pela pequena permeabilidade que podem apresentar.

O que difere o índice 2 do ISLF 1 é a menor declividade o que possibilita uma maior área de alcance do óleo em casos de rio com nível alto. As margens urbanizadas na região do delta possuem algumas estruturas não verticais, como rampas de acesso ao rio e pequenas proteções nas margens. Coincidentemente os ambientes classificados nesse índice encontram-se nos sacos, ambientes com menor fluxo do rio comparado com o canal principal do ISLF 1.

Como no ISLF anterior, neste ambiente não acontece penetração significativa do óleo. A NOAA destaca que, como estes ambientes apresentam declividade entre 5° até 30°, caso o nível do rio esteja elevado o óleo pode se

depositar ou acumular na faixa superior sendo importante a remoção deste do ambiente.



Figura 7: Margens classificadas com: ISLF 1 - Muros / Estruturas Verticais; ISLF 2 - Substrato Declividade Média / Estruturas de Madeira.

- ISLF 3 – Escarpas

A presença de um substrato de areia, semipermeável com declividade moderada a alta fez surgir o ISLF 3 (figura 8). Nestes substratos já existe certa permeabilidade do óleo, mas a inclinação não permite que este alcance áreas além das margens. Margens com escarpas são bem características de rios com alto fluxo (GURNELL *et al.*, 2012) , como a região de estudo é deltaica a velocidade do fluxo é menor, por esta característica esse ISL é pouco encontrado no local.

Pela classificação fluvial e estuarina da NOAA (2002) nessa categoria aparecem escarpas, encostas íngremes e bancos de sedimentos inconsolidados expostos. Os sedimentos são bem selecionados e compactados, com penetração do óleo geralmente menor que 10 cm.

- ISLF 4 - Praia Areia Média / Fina

Este ISLF foi baseado na classificação do MMA para praias abrigadas, com substrato de areia média e fina, semipermeáveis e com declividade baixa (< que 5°), como o ambiente apresentado na figura 8. As características do comportamento do óleo são semelhantes ao ISLF anterior, sedimentos selecionados e com penetração menor que 10 cm. A menor declividade possibilita uma maior área para alcance do óleo e impacto no local.

Na área de estudo existem algumas praias de extensão moderada que são utilizadas para recreação. A largura destas praias é pequena podendo o ambiente ficar submerso em casos de alto nível do rio, neste cenário a classificação do ISLF pode mudar.



Figura 8: Margens classificadas com: ISLF 3 - Escarpas; ISLF 4 - Praia Areia Fina/Média.

- ISLF 5 – Praias Mistas e de Areia Grossa

As praias mistas e de areia grossa, figura 9, foram classificadas como ISLF 5 por possuírem uma declividade moderada, serem permeáveis e apresentarem como tipo de substrato areia ou substrato rochoso. Praias de areia grossa são características de ambientes fluviais, mas não tanto de ambientes deltaicos porque com a diminuição da competência a areia grossa deposita e não é mais transporta para estes ambientes (CORENBLIT *et al.*, 2011).

Apresentam uma maior penetração do que as praias de areia média, até cerca de 25cm de profundidade (MMA, 2007). A mobilidade destes sedimentos pode causar soterramento e a maior percolação do óleo dificultar a limpeza.

- ISLF 6 - Entulhos e Resíduos

A ocupação desordenada das margens apresenta uma mistura de estruturas diferentes no qual o óleo pode percolar, como entulhos e resíduos domésticos. As margens junto destes fragmentos se encontram desprotegidas ou com proteções precárias, com ou sem vegetação. Estas margens além da sensibilidade ambiental ao óleo também possuem uma sensibilidade social elevada.

Esta problemática gerou o ISLF 6 (figura 9) que apresenta substratos como areia, cascalho, entulho, entre outros. A permeabilidade do ambiente é alta, além de dificuldade de limpeza e remoção, se houver soterramento ou retenção no substrato irregular a persistência do óleo pode ser alta.

O comportamento potencial do óleo foi baseado na classificação do MMA – praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais – substratos de média a elevada permeabilidade, com alta penetração/soterramento do óleo. Neste caso há penetração do óleo até 50 cm de profundidade; maior profundidade de percolação do óleo dificulta a limpeza, podendo causar erosão ou problemas de descarte; baixa trafegabilidade potencial; persistência do óleo pode ser alta se houver soterramento ou retenção em irregularidades do substrato.



Figura 9: Margens classificadas com: ISLF 5 - Praias Mistas / Areia Grossa; ISLF 6 - Entulhos e Resíduos.

- ISLF 7 – Escarpas Vegetadas

As escarpas vegetadas foram classificadas como ISLF 7, figura 10, por possuírem declividade moderada, serem de substrato areia e semipermeáveis. A presença de vegetação aumenta sua sensibilidade e também sua importância ecológica, pois permite o desenvolvimento de comunidades biológicas. Em ambientes fluviais a presença de vegetação em escarpas indica baixa energia do rio e lenta taxa de limpeza natural (NOAA, 2002).

Nesta classificação o ambiente é usualmente protegido e a declividade da margem é superior a 15°, não permitindo grande alcance do óleo em caso de acidente. Caso o nível do rio esteja alto essas escarpas podem ficar

submersas e assim a água chegar direto na vegetação acima da escarpa, aumentando o ISLF do local.

- ISLF 8 – Bancos Vegetados

Os bancos vegetados (figura 10) são ambientes transitórios e menos desenvolvidos, surgem pela deposição de sedimentos carreados pelos rios. Como características do ISLF 8 têm-se declividade baixa (<3°) e substrato de areia lamosa. A penetração do óleo é muito baixa já que o sedimento é saturado em água, e o substrato, quase plano. Segundo NOAA (2002), a limpeza nesses ambientes é extremamente dificultada pela presença de vegetação e sedimento lamoso, além da taxa de remoção natural ser muito baixa e depender da frequência de inundação.

Estes ambientes são depósitos de sedimentos em deltas ou leitos de rio no qual começam a se fixar vegetações, aquáticas ou não, gerando pequenas ilhas que podem evoluir para ilhas mais estruturadas (CORENBLIT *et al.*, 2011). Contudo são transitórios porque com mudanças na direção das águas ou após enchentes estes bancos podem desaparecer facilmente.



Figura 10: Margens classificadas com: ISLF 7 - Escarpas Vegetadas; ISLF 8 - Bancos Vegetados.

- ISLF 9 – Florestas Aluviais

As florestas aluviais apresentam ISLF 9 já que possuem vegetação desenvolvida, constante e com grande importância ecológica (figura 11). O substrato das florestas no delta é formado por detritos de origem aluvial, possuindo baixa permeabilidade e apresentando declividade baixa à moderada.

A vegetação das florestas é lenhosa, de porte médio a grande e, portanto mais resistente a impactos com óleo.

Segundo Scipioni *et al.* (2013), as florestas aluviais, favorecem um microclima para o desenvolvimento da fauna e flora de estágios mais avançados, conservação de solos e a manutenção de todo o ecossistema florestal, essa função é ainda mais relevante, devido aos inúmeros processos ecológicos que ocorrem nesses ambientes. Além disto, as florestas marginais protegem da erosão e filtram os sedimentos e os produtos químicos utilizados nas lavouras (ARAÚJO *et al.*, 2004). Na área do PEDJ este ambiente totaliza 1.430 ha.

Índices como NOAA (2002) e MMA (2007) apresentam margens com vegetações emergentes em um único ISL, a classificação da NOAA ainda subdivide este grupo em letras para cada cenário e a divisão é feita conforme aumenta o grau de sensibilidade destes, exemplo: 10A marismas salobros e salgados são menos sensíveis que 10D manguezais. Neste trabalho optou-se por fazer a subdivisão em números, ISL 9 como florestas e ISL 10 como banhados, já que a vegetação lenhosa é menos sensível que as gramíneas (HAYES *et al.*, 1995).

Comparando com a subdivisão da NOAA seria uma classificação similar a encontrada na 10C da NOAA “Pântano” que segundo a descrição destes consiste numa vegetação arbustiva e de floresta lenhosa úmida, além de apresentar vegetação alta com média de 6m. Sedimento é lamoso ou arenoso e podem ser sazonalmente inundadas.

O óleo nestes ambientes pode penetrar no sedimento e nas raízes e troncos da vegetação. O substrato normalmente possui baixa declividade, potencializando um amplo alcance do óleo. Nas regiões com sedimento saturado em água a permeabilidade é muito baixa. Os procedimentos de limpeza são danosos e intrusivos, pois facilitam o soterramento do óleo para camadas mais profundas. Conforme o mapeamento do Rio Columbia (NOAA, 2004) a vegetação arbórea coberta por óleo não deve ser cortada.

- ISLF 10 – Banhados

Os banhados são áreas alagadas e vegetadas temporariamente ou permanente, conhecidos como brejos, pântanos, pantanal, charcos na maior parte do país. O termo “banhado” é utilizada no Rio Grande Sul e provém da palavra em espanhol *bañado*, devido à influência dos países que fazem fronteira com este estado (CARVALHO & OZORIO, 2007). Este ambientes são considerados locais de reprodução e crescimento de várias espécies, propiciando áreas de repouso, nidificação, e hibernação especialmente para aves migratórias. Conforme Widholzer (1986), os banhados prestam serviço no fornecimento de alimento e abrigo, tanto para a fauna local, a adjacente ou a migratória.

A grande disponibilidade de nutrientes, a heterogeneidade espacial e a variedade de condições físicas e químicas verificadas nestes ambientes fazem com que estes apresentem elevada produtividade e diversidade de vida, estando entre os ecossistemas mais produtivos biologicamente (WIDHOLZER, 1986). Segundo relatório do IBAMA (2000) os banhados apresentam função de controlar vazões dos rios (até mesmo inundações de grandes proporções), estabilizar regiões costeiras, reter sedimentos e nutrientes, controlar a biodiversidade como um reservatório ecológico e promover mitigação dos efeitos de poluentes nas águas das bacias hidrográficas associadas.

Nestas áreas alagadas existem diversos tipos de vegetações, mas em geral apresentam uma estrutura vegetal mais simples e um porte menor do que as florestas. Caracteriza-se o ISLF 10 pela presença de substrato lamoso, baixa declividade, baixa permeabilidade e alta importância ecológica pela presença da vegetação de banhados, apresentados na figura 11. No Delta do rio Jacuí os banhados são classificados em classes que são descritas no Plano de Manejo do PEDJ (FZB, 2013): Macrófitos de Margem; Banhados Herbáceos Baixos; Banhados Herbáceos Altos e Banhados Arbustivos/Arbóreos. Esta vegetação ocupa 7.627,43 ha da área total do parque.

Comparando as descrições da NOAA (2004) algumas dessas subclasses de banhados podem ser classificados como 10B e 10D. O litoral de 10B consiste em vegetação de gramíneas com vegetação emergente de herbáceas em ambiente com variação de nível de água doce e a margem em

10D é formada por arbustos e vegetação lenhosa com menos de 6m de altura que pode ser inundada em níveis de rio alto algumas vezes no ano já que estão em um posição mais alta em relação ao nível.

O comportamento do óleo nestes ambientes é ser aderido facilmente à vegetação, o substrato possui declividade baixa proporcionando um maior alcance do poluente. Como apresenta sedimento saturado em água a permeabilidade ao óleo é muito baixa. Os procedimentos de limpeza são intrusivos e impactantes, pois ocasionam o soterramento do óleo para camadas mais profundas. O mapeamento da NOAA (2006) indica que as taxas de limpeza natural devem ser avaliadas como prioridade na condução da limpeza do ambiente.



Figura 11: Margens classificadas com: ISLF 9 - Florestas Aluviais; ISLF 10 - Banhados.

Uma importante característica do ambiente estudado é a variação de nível influenciada pela descarga dos rios e o efeito do vento. Esta característica dificulta o mapeamento já que há margens que mudam a sensibilidade conforme o nível do rio. Este trabalho identificou dois pontos que houve mudança na classificação.

No primeiro caso a sensibilidade da região aumentou no Canal dos Lajes passando do ISLF 7, escarpa vegetada, para ISLF 9, florestas aluviais, como mostra a figura 12. O nível no primeiro mapeamento era de 0,77m, e no segundo, 1,44m. Na área do clube Grêmio Náutico União (ilha do Pavão), a mudança de nível conduziu a uma menor sensibilidade do ambiente. Este, classificado como ISLF 5, praia mista / areia grossa no reconhecimento inicial, e depois passou para ISLF 1, muros / estruturas verticais, já que o nível alto deixou a região praial submersa e alcançou o muro do clube.



Figura 12: Escarpa vegetada em dois níveis da água distintos.

Cartas SAO são instrumentos estáticos, dificultando a inclusão de variáveis dinâmicas, como esta, na classificação. Além das classes específicas para ambientes fluviais propostas neste trabalho uma releitura de apresentação do método é importante incluindo as características mutáveis do meio como, vazão, nível dos rios e direção dos ventos.

O mapeamento realizado por este estudo no delta do Rio Jacuí utilizou os 10 ISLF criados na classificação das margens. As cartas SAO elaboradas conforme a metodologia vigente contemplou apenas quatro índices para esta região. As principais diferenças vieram pela separação das margens vegetadas em quatro classes e pelo estabelecimento de novos índices nas áreas urbanizadas e com presença de escarpas nas margens.

As distinções das categorias de margens vegetadas seguiram as diferenças de declividade, substrato e tipo de vegetação associada encontradas nas mesmas. A importância ecológica, transitoriedade ou não do ambiente e características específica de cada vegetação como porte e capacidade de regeneração permitiram desenvolver as categorias. A presença de vegetação eleva a sensibilidade destas regiões devendo a proteção com barreiras ser prioritária para que as manchas de óleo não alcancem estes ambientes.

O ISLF 6 foi desenvolvido para melhor definir o comportamento potencial do óleo nas margens com ocupação desordenada e depósito de resíduos e entulhos. A classificação de escarpa, ISLF 3, surgiu por ser uma feição característica de ambientes fluviais.

O índice proposto julga contemplar a diversidade e complexidade que os ambientes fluvio-deltaicos apresentam. Comparando o mapeamento oficial com

este método, as novas classes criadas esperam satisfazer as lacunas existentes na metodologia oficial.

5. Conclusões

Para compor o Índice de Sensibilidade do Litoral Fluvial os parâmetros utilizados foram tipo de vegetação associada, declividade e substrato da margem, já que estas características determinam a permeabilidade, espalhamento e tempo de permanência do óleo. O índice proposto também considerou a importância ecológica dos ambientes encontrados. Como a região de estudo é um ambiente deltaico, o fluxo do rio foi considerado um parâmetro secundário.

As regiões menos sensíveis foram classificadas em seis índices, reunindo ambientes com urbanização, escarpas e praias. A hierarquização destas classes foi determinada pelas margens apresentarem substratos impermeáveis ou com permeabilidade, declividade acentuada ou moderada.

As margens vegetadas foram divididas conforme a importância ecológica, o porte e o desenvolvimento destas, gerando quatro classes: escarpas vegetadas, bancos vegetados, florestas aluviais e banhados. A presença de vegetação eleva a sensibilidade destas regiões devendo a proteção com barreiras ser prioritária para que as manchas de óleo não alcancem estes ambientes. As ações de limpeza nestes ambientes podem impactar mais do que o próprio recobrimento do óleo (PEZESHKI *et al.*, 2000).

Comparando a classificação proposta com o mapeamento oficial, que utilizou apenas quatro índices para a região do Delta do Rio Jacuí, entende-se que o ISLF abrange as características do ambiente fluvial de clima subtropical de modo mais adequado. Este trabalho também almeja contribuir para a gestão de contingência no país e motivar os diálogos sobre a sensibilidade ao óleo nos diversos ambientes marginais e costeiros do Brasil, uma vez que a metodologia oficial não contempla alguns aspectos relevantes para a resposta à emergência e impacto ambiental.

Capítulo III – Mapeamento do Delta do Rio Jacuí

ÍNDICE DE SENSIBILIDADE DO LITORAL FLUVIAL: DELTA DO RIO JACUÍ

Introdução

Os mapas de sensibilidade do Delta do Rio Jacuí foram desenvolvidos das imediações do Canal de Santa Clara, acesso ao terminal do Pólo Petroquímico de Triunfo, até o Saco Santa Cruz, ao final do delta. O Índice de Sensibilidade do Litoral Fluvial (ISLF) foi elaborado para classificar de modo satisfatório ambientes fluvio-deltaicos ou de rios de planície, sendo aplicado a primeira vez neste mapeamento.

Os mapas de sensibilidade a derrames de óleo apresentam três tipos de informações importantes: classificação das margens, recursos biológicos sensíveis e usos humanos de recursos (informações socioeconômicas). Os recursos biológicos sensíveis e informações socioeconômicas serão acrescentados com os dados levantados no projeto “Mapeamento de Sensibilidade ao óleo da Bacia de Pelotas”, ainda em conclusão. Deste modo, estas cartas contemplarão somente a classificação das margens por enquanto.

Mapeamento dos Ambientes Fluviais

O mapeamento no delta foi realizado em dois momentos: maio de 2013 e agosto de 2014. Para o reconhecimento das margens percorreu-se os canais em embarcação, tomando fotografias georreferenciadas e notas sobre os ambientes em questão.

Para determinar a sensibilidade das margens fluviais os fatores considerados são:

- Tipo de substrato;
- Declividade da margem;
- Sensibilidade biológica – tipo de vegetação associada.

Prever o comportamento e a persistência do óleo nos ambientes é baseado nas características geomorfológicas e dinâmicas da região fluvial. Estes fatores afetam como o óleo irá impactar o ambiente: tipo de substrato reflete sobre permeabilidade e mobilidade do

sedimento; declividade determina o alcance que o óleo terá na margem; e a vegetação associada influencia na sensibilidade das plantas ao recobrimento pelo óleo e a capacidade de recuperação do ambiente.

A energia do fluxo do rio também é um fator importante para inferir sobre o tempo de permanência do óleo, contudo como o ambiente em questão é um delta, no qual a intensidade das correntes não é muito elevada, este parâmetro foi considerado secundário. A facilidade para ações de resposta também deve ser levada em consideração, principalmente relacionado à limpeza do ambiente, pois interferem no grau de impacto que o habitat pode sofrer.

Deste modo, os ambientes que apresentam substratos artificiais ou impermeáveis, declividade alta e sem presença de vegetação são os com menor sensibilidade enquanto que os ambientes com alta permeabilidade, declividade baixa e presença de vegetação nas margens apresentam os maiores índices. A lista a seguir apresenta os ambientes do ISLF encontrados no Delta do Rio Jacuí, em ordem crescente de sensibilidade à derrames de óleo.

- 1) Muros / Estruturas Artificiais;
- 2) Substrato Declividade Média / Estruturas de Madeiras;
- 3) Escarpas;
- 4) Praia Areia Média / Fina;
- 5) Praia Mista / Areia Grossa;
- 6) Entulhos e Resíduos;
- 7) Escarpas Vegetadas;
- 8) Bancos Vegetados;
- 9) Florestas;
- 10) Banhados / Macrófitos de Margem.

Estes ambientes serão descritos nas páginas seguintes nos termos de descrição física, comportamento potencial do óleo e considerações de resposta. Nas cartas o ISLF aparece como uma linha colorida margeando o ambiente estudado. As cores escolhidas seguem o padrão descrito na metodologia do Ministério do Meio Ambiente.

Descrição:

- Estruturas sólidas, impermeáveis, artificiais e com alta declividade (maior que 30°) como, muros e piers;
- Maioria destas estruturas são de alvenaria, concreto e rochas;
- Ambiente de baixa importância ecológica porque não apresenta comunidades vegetais fixadas;
- Feições encontradas ao longo do canal principal do rio Jacuí, sul da ilha Grande dos Marinheiros e da ilha do Pavão;



Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- Óleo adere às superfícies secas e ásperas na linha de nível do rio;
- Não há penetração do óleo nestas superfícies;
- Limpeza do ambiente pode ser realizada com jateamento de alta pressão.



Descrição:

- Estruturas sólidas, artificiais, com baixa permeabilidade e declividade moderada (entre 5° até 30°) como, rampas, piers deques;
- Estruturas de madeira de declividade média ou alta foram englobadas nesta classe pela pequena permeabilidade que apresentam;
- Feitas em concreto, madeira ou fragmentos de rocha;
- Não apresentam comunidades associadas;
- Ambiente encontrado principalmente na região do Saco dos Assombrados e Ilha da Pintada;



Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- Maior alcance do óleo nas margens devido a menor declividade comparado ao ISLF 1;
- Óleo adere às superfícies na linha da água e pode penetrar nas emendas das estruturas de madeira e fragmentos de rocha, nas demais estruturas a penetração não acontece;
- Limpeza do ambiente pode ser realizada com jateamento ou absorventes (pequena extensão).



Escarpas

ISLF 3

Descrição:

- Estas escarpas são formadas por sedimentos inconsolidados bem selecionados, geralmente areia, e apresentam uma declividade abrupta;
- São formadas pela erosão das margens pelo fluxo do rio;
- Não há presença de comunidades na região;
- Feição característica da região superior do rio Jacuí, antes das bifurcações dos canais deltaicos;



Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- Qualquer tipo de óleo irá se acumular como uma banda ao longo na linha de nível da água;
- Penetração do óleo geralmente menor que 10cm, devido a compactação dos sedimentos.
- Procedimentos de limpeza devem ser cuidadosos pelo potencial efeito erosivo nas margens;
- Lavagem com água corrente, limpeza manual e uso de absorventes são técnicas recomendadas.



Praia Areia Média / Fina

ISLF 4

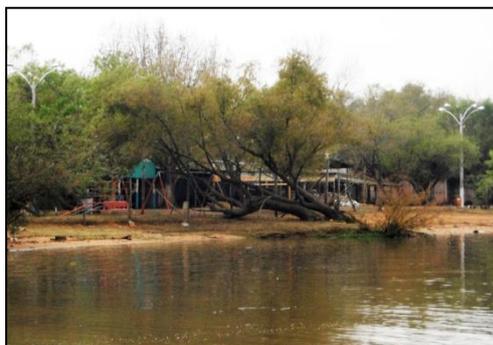
Descrição:

- Praias planas, com sedimento bem selecionado, normalmente com baixa declividade ($< 5^\circ$), apresentam também pequena largura;
- Pode apresentar algumas vegetações na região praial;
- Ambiente pouco encontrado no delta, Praia de Paquetá e pequenas praias nos clubes recreativos;



Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- Máxima penetração do óleo entre 10 e 15cm;
- Devido a pequena inclinação da face praial o alcance do óleo pode ser grande;
- Óleos leves se depositam na linha da água podendo alcançar maiores áreas se o nível estiver alto;
- Indicado para remoção do óleo o método de limpeza manual ou mecânica e uso de absorventes.



Descrição:

- Praias com declividade moderada (entre 5° até 30°) e apresentando substrato areia ou rochoso.
- Pode acontecer mobilidade do sedimento pelas correntes do rio;
- Ambiente característico de regiões fluviais com fluxo de rio mais intenso, pouco encontrado no delta. Pequenas praias em regiões de clubes recreativos.



Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- Óleo pode penetrar até cerca de 25cm;
- A mobilidade do sedimento tende ao soterramento;
- Limpeza manual ou com uso de absorventes;
- Limpeza mecânica dificultada pela mobilidade do sedimento e potencial de enterramento do contaminante.



Entulhos e Resíduos

ISLF 6

Descrição:

- Margens com diversas estruturas e declividade moderada, com ou sem proteção, misturadas com fragmentos de vegetação, entulhos e resíduos sólidos urbanos;
- Apresentam elevada sensibilidade social por serem locais de ocupação ribeirinha desordenada;
- Regiões que apresentam substratos como areia, cascalho, entulho, fragmentos de rochas, entre outros;
- Ambiente característico das regiões que apresentam comunidades de catadores de lixo, como a Ilha Grande dos Marinheiros;



Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- Substratos apresentam elevada permeabilidade, com penetração até 50cm;
- Maior percolação dificulta a limpeza, podendo causar erosão e problemas de descarte;
- Persistência do óleo pode ser alta se houver soterramento ou retenção nas irregularidades do substrato;



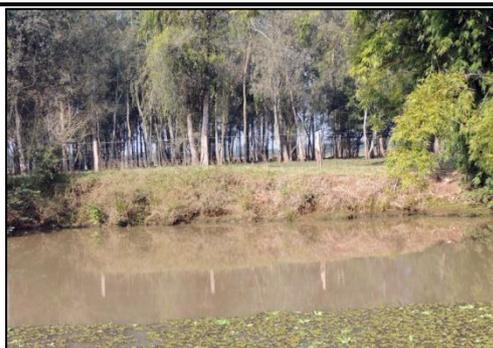
- Procedimentos de limpeza recomendados: jateamento de baixa pressão e limpeza manual.

Escarpas Vegetadas

ISLF 7

Descrição:

- As escarpas vegetadas possuem características semelhantes com o ISLF 3, mas possuem uma alta sensibilidade ambiental devido a presença da vegetação;
- Formadas por sedimentos inconsolidados bem selecionados e apresentam uma declividade íngreme (> que 15°);
- Em casos de alto nível de rio pode ficar submersa gerando uma nova classificação no local;
- Feição encontrada no Canal do Lajes;



Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- A presença de vegetação nas escarpas indica baixa energia do rio e lenta taxa de limpeza natural;
- Penetração do óleo geralmente menor que 10cm, compactação dos sedimentos;
- Óleo pode causar recobrimento na vegetação causando asfixia e morte;
- Procedimentos de limpeza devem ser cuidadosos pelo potencial efeito erosivo nas margens;



- Lavagem com água corrente, limpeza manual e uso de absorventes são técnicas recomendadas.

Bancos Vegetados

ISLF 8

Descrição:

- Ambientes planos, substrato areia lamosa;
- Formados por depósitos sedimentares no qual a vegetação se fixa e desenvolve;
- Feições transitórias ou que podem evoluir para formação de ilhas fluviais;
- Ambientes importantes para alimentação e reprodução da fauna local;
- Em nível alto do rio pode ser totalmente submerso;
- Bancos encontrados próximos ao Rio Caí e Saco do Ferraz;



Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- Penetração do óleo muito baixa já que o ambiente é saturado em água;
- Impacto do óleo por recobrimento da vegetação, pela baixa declividade do ambiente pode ter um amplo alcance;
- Se o nível estiver baixo o impacto será somente nas bordas do banco;
- Jateamento de baixa pressão e uso de absorventes biodegradáveis são as técnicas recomendadas;



- Monitoramento durante os procedimentos de limpeza para não revolver o sedimento.

Descrição:

- Florestas aluviais apresentam vegetação lenhosa, de médio e grande porte, com altura média de 6m;
- Substrato formado por detritos de origem aluvial, normalmente lamoso;
- Ambiente com grande importância ecológica por permitirem desenvolvimento de fauna e flora em estágios mais avançados;
- Estas florestas podem ser sazonalmente inundadas;



Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- Óleo pode penetrar no sedimento, raízes e troncos da vegetação se o nível do rio estiver alto;
- Nas regiões que o solo estiver saturado em água a penetração é muito baixa;
- Vegetação lenhosa é menos sensível que vegetação herbácea;
- Ações de contingência precisam proteger estes ambientes com barreiras já que os impactos com a limpeza do ambiente são grandes;
- Atividades de limpeza precisam ser monitoradas para não misturar sedimentos e enterrar o óleo;
- Limpeza manual é o único método recomendado;
- Vegetação lenhosa não deve ser cortada.



Descrição:

- Banhados são áreas alagadas e vegetadas temporariamente ou permanentemente, apresentam vegetação de porte herbáceo ou arbustivo;
- Substrato lamoso e de baixa declividade;
- Ambientes com elevada sensibilidade ambiental devido às importantes funções ecológicas que exerce;
- Consiste em vegetação de gramíneas com vegetação herbácea emergente ou arbustos de até 6m de vegetação lenhosa;

Comportamento potencial do óleo / Ações de resposta:

- Óleo adere diretamente na vegetação;
- A baixa inclinação do ambiente proporciona um amplo alcance do óleo;
- Penetração do óleo muito baixa nos locais no qual o ambiente estiver saturado em água;
- Ações de contingência precisam proteger estes ambientes com barreiras já que os potenciais impactos com a limpeza do ambiente são grandes;
- Atividades de limpeza precisam ser monitoradas para não misturar sedimentos e enterrar o óleo;
- Corte controlado de vegetação pode ser considerado caso haja possibilidade de maiores impactos.



Comparação com índice padrão do Ministério do Meio Ambiente

O Índice de Sensibilidade ao Litoral Fluvial foi desenvolvido para aperfeiçoar a resposta à emergência em casos de derrames de óleo através de uma classificação compatível com o ambiente fluvial. Seguindo estritamente o manual oficial das Cartas SAO, que utiliza o índice de sensibilidade do litoral (ISL), o Delta do Rio Jacuí seria todo classificado com ISL 10, que contempla “Delta e barras de rio vegetados”.

No projeto “Mapeamento de Sensibilidade ao óleo da Bacia de Pelotas”, através de conversas com especialistas da Universidade Federal do Rio Grande e Universidade Federal do Rio Grande do Sul esta mesma região foi classificada com quatro classes de ISL fazendo alguns ajustes na metodologia oficial. Como este projeto ainda está em andamento as cartas SAO produzidas ainda não foram publicadas.

Os ambientes com urbanização nas margens foram classificados com ISL 1 e ISL 2 pela metodologia oficial, o método do ISLF proposto definiu três categorias para estas regiões considerando os diferentes níveis de permeabilidade e alcance que o óleo poderia impactar: ISLF 1, ISLF 2 e ISLF 6. Esta distinção foi feita porque havia diferenças nos tipos de substrato e inclinação nas margens, proporcionando comportamento potencial do óleo diverso.

A praia de Paquetá, localizada próximo a foz do rio do Sinos foi o único ambiente com sedimento arenoso classificado pelo mapeamento oficial, ISL 4 – praia de areia fina a média abrigada. Pela diminuição do fluxo dos rios em regiões deltaicas o sedimento arenoso acaba por depositar e formar diferentes feições, deste modo o índice fluvial especificou três classes para estas margens. O ISLF 3 contempla escarpas e o ISLF 4 e 5, praias com diferentes tamanhos de grão.

Pela metodologia oficial margens vegetadas são todas consideradas com o ISL 10, quase a totalidade da área mapeada no delta do Rio Jacuí. A classificação aqui apresentada dividiu estas margens em quatro índices, segundo as diferenças de declividade, substrato e tipo de vegetação associada. A importância ecológica, transitoriedade ou não do ambiente e características específica de cada vegetação como porte e capacidade de regeneração permitiram desenvolver as categorias: escarpas vegetadas, bancos vegetados, florestas aluviais e banhados / macrófitos de margem. A presença de vegetação eleva a sensibilidade destas regiões devendo a proteção destes ambientes com barreiras ser prioritária para que as manchas de óleo não alcancem.

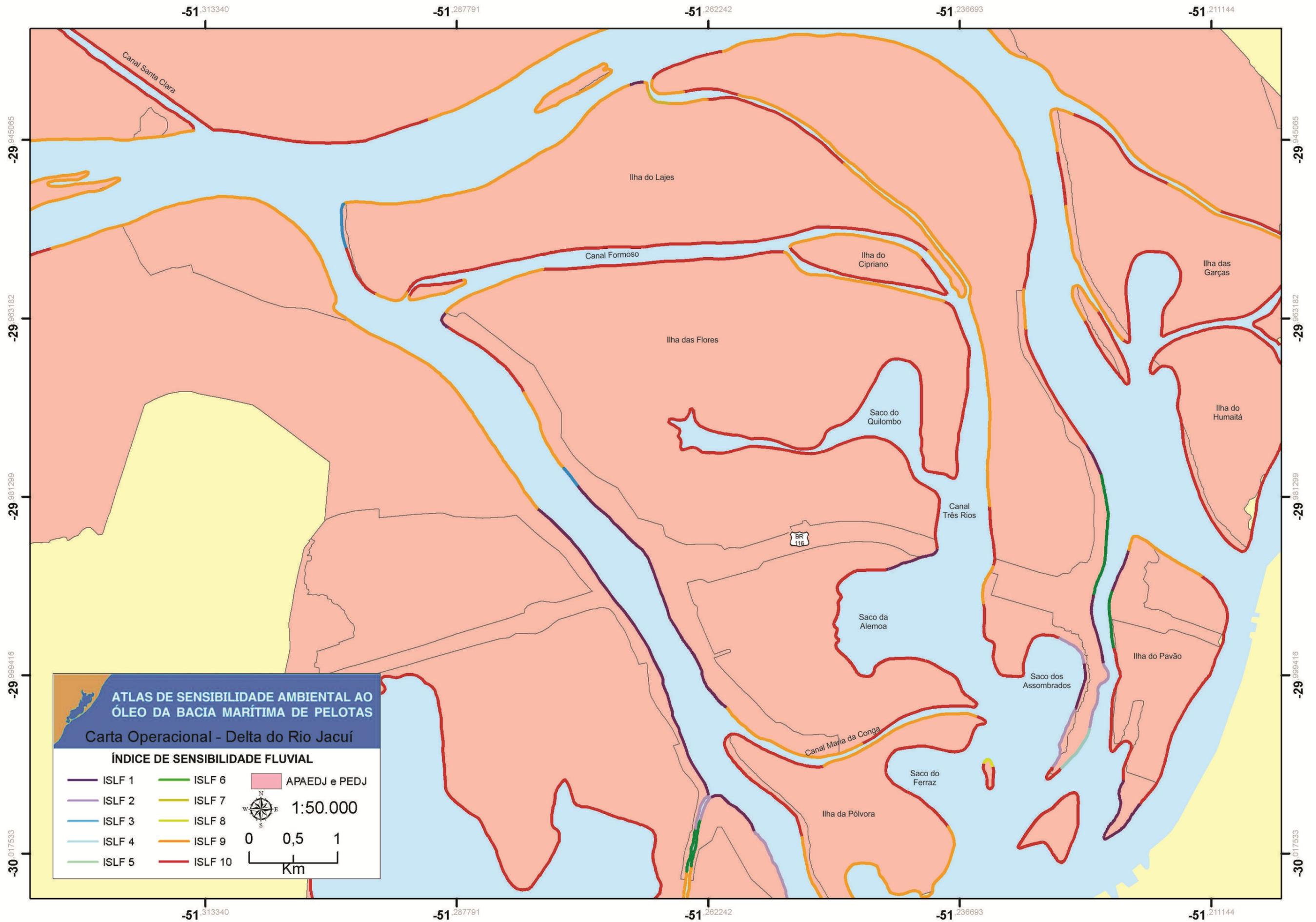
A região do Delta do Rio Jacuí foi classificada utilizando os 10 índices do ISLF apresentado. Esta classificação julga contemplar a diversidade e complexidade que os ambientes fluvio-deltaicos apresentam. Comparando o mapeamento oficial com o método aplicado aqui as novas classes criadas esperam satisfazer as lacunas existentes na metodologia oficial.

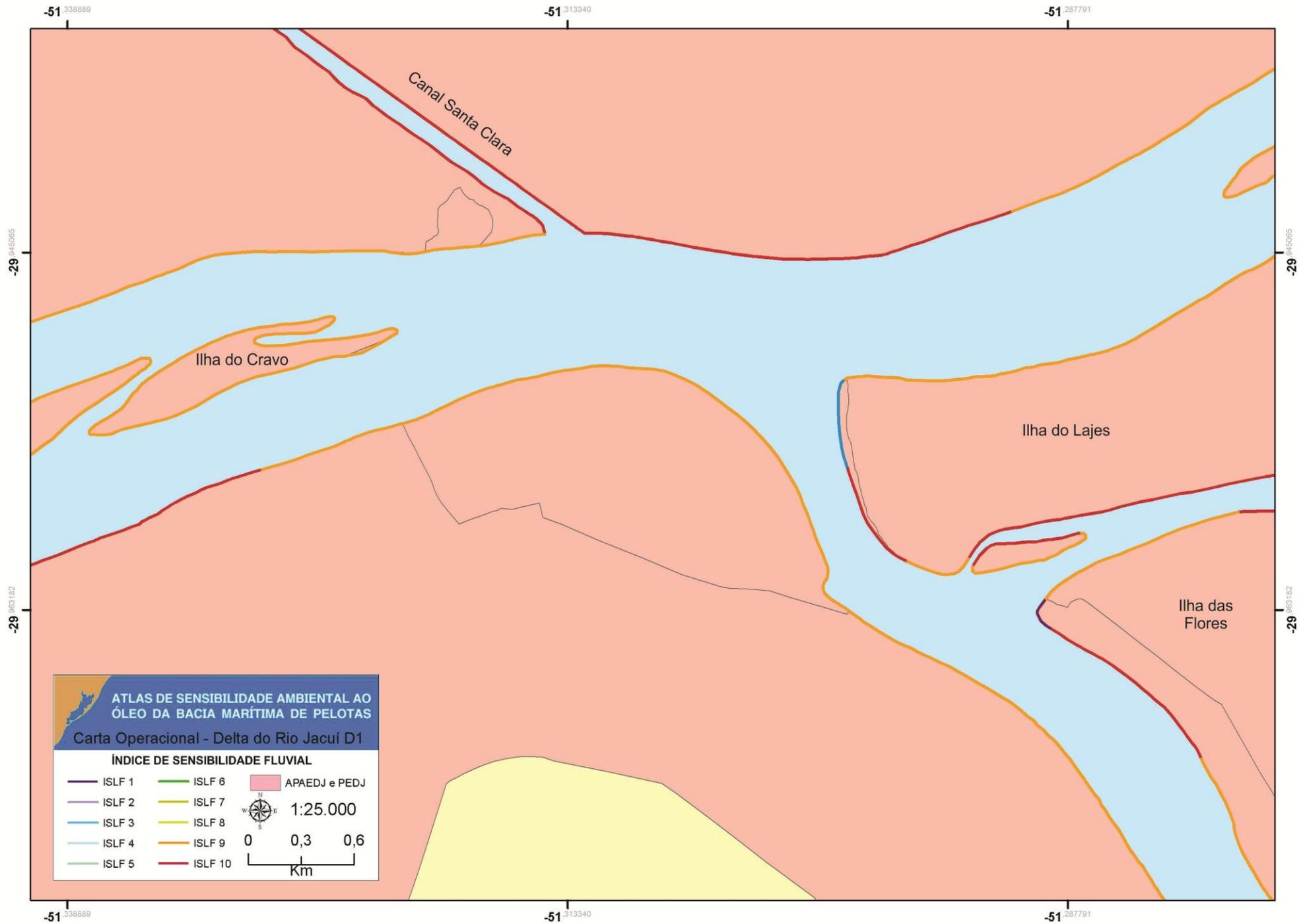
O índice apresentado neste mapeamento procurou dividir os ambientes segundo as diferenças geomorfológicas e a suscetibilidade biológica das regiões fluviais. Espera-se que esta classificação expresse a real sensibilidade ambiental destes ambientes e motive os diálogos sobre a sensibilidade ao óleo nos diversos ambientes marginais e costeiros do Brasil.

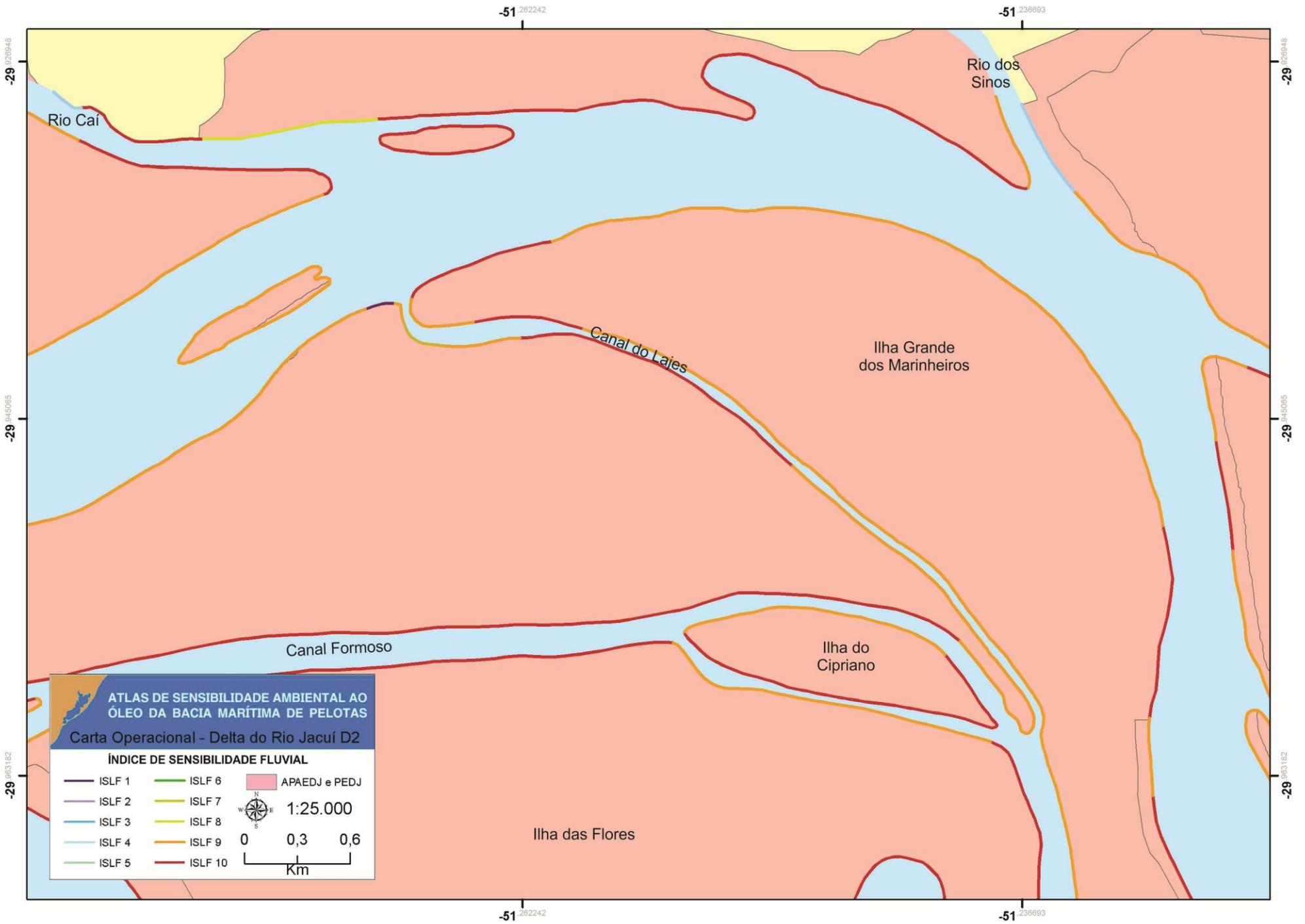
Cartas do Delta do Jacuí

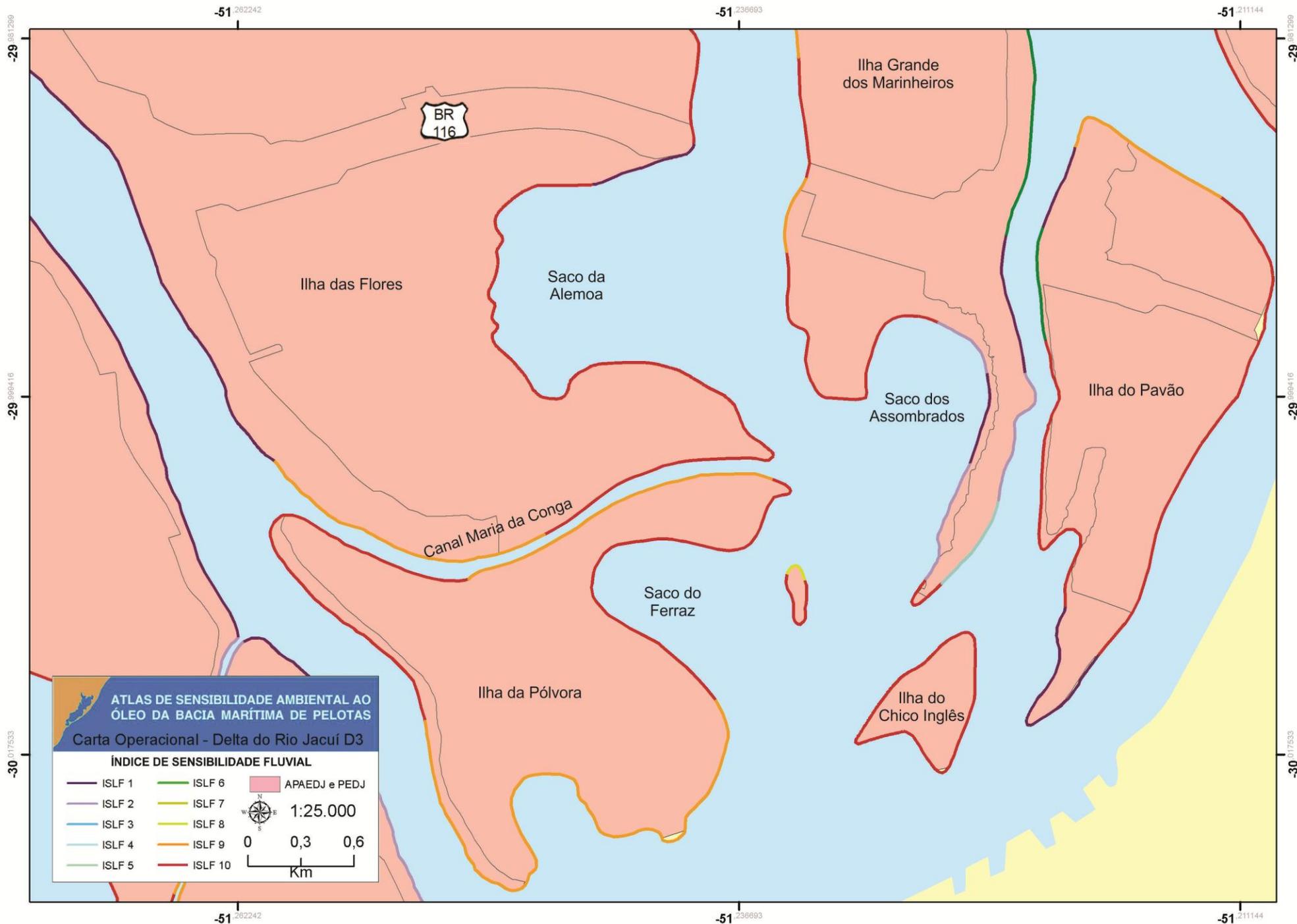
As cartas produzidas no mapeamento deste trabalho são apresentadas a seguir:

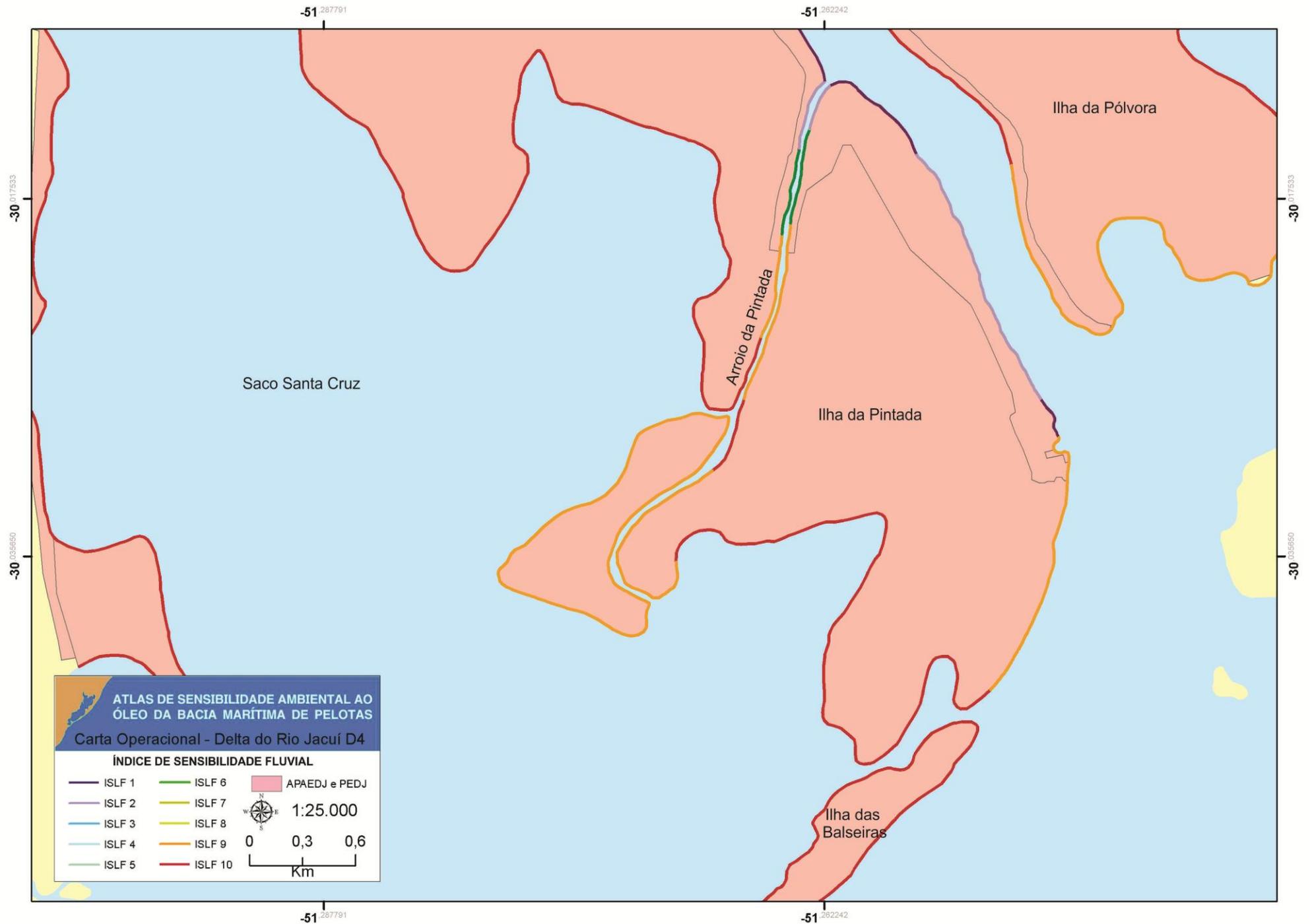
- Carta Operacional da área do Delta do Jacuí, escala 1:50000;
- Carta Operacional de detalhe da região do Canal de Santa Clara, Polo Petroquímico de Triunfo, escala 1:25000;
- Carta Operacional de detalhe da foz dos rios Caí e Sinos, escala 1:25000;
- Carta Operacional de detalhe da região urbanizada, próxima a BR116, escala 1:25000;
- Carta Operacional de detalhe do arroio da Pintada e Saco Santa Cruz, escala 1:25000.











ATLAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO DA BACIA MARÍTIMA DE PELOTAS
Carta Operacional - Delta do Rio Jacuí D4

ÍNDICE DE SENSIBILIDADE FLUVIAL

ISLF 1	ISLF 6	APAEDJ e PEDJ
ISLF 2	ISLF 7	
ISLF 3	ISLF 8	
ISLF 4	ISLF 9	
ISLF 5	ISLF 10	

1:25.000

0 0,3 0,6

Km

Capítulo IV – Considerações Finais

Considerações Finais

O presente trabalho desenvolveu o Índice de Sensibilidade do Litoral Fluvial para a região do Delta do Jacuí. O ISLF é composto por 10 classes de ambientes encontrados nas margens da área de estudo, estas categorias são apresentadas na ordem crescente de sensibilidade a derrames de óleo.

Os fatores utilizados para hierarquizar as categorias foram o substrato, declividade e presença ou não de vegetação associada à margem. Através destes parâmetros é possível compreender o comportamento potencial do óleo e deste modo, classificar as feições geomorfológicas conforme a sensibilidade apresentada.

Reunindo ambientes com urbanização, escarpas e praias surgiram às classes das regiões menos sensíveis, separados em seis índices. A hierarquização destas margens foi determinada pela presença de substratos impermeáveis ou com permeabilidade, declividade acentuada ou moderada. Estas classes são: muros (ISLF 1), substrato declividade média (ISLF 2), escarpas (ISLF 3), praia areia fina/média (ISLF 4), praia mista/areia grossa (ISLF 5) áreas com entulhos e resíduos (ISLF 6).

As margens vegetadas foram divididas conforme a importância ecológica, o porte e o desenvolvimento destas, gerando quatro classes: escarpas vegetadas (ISLF 7), bancos vegetados (ISLF 8), florestas aluviais (ISLF 9) e banhados (ISLF 10). Os ambientes de escarpas e bancos vegetados são feições transitórias que podem desaparecer em momentos de enchente nos rios. As florestas aluviais e banhados são importantes habitat exercendo funções ecológicas únicas. A presença de vegetação eleva a sensibilidade destas regiões devendo a proteção com barreiras ser prioritária para que as manchas de óleo não alcancem estes ambientes. As ações de limpeza nestes ambientes podem impactar mais do que o próprio recobrimento do óleo.

A aplicação do método na região do delta foi realizada em dois momentos distintos. Durante o mapeamento, surgiram questões importantes como a variação de nível encontrada, já que dependendo deste alguns ambientes teriam classificações diferenciadas. Este mapeamento originou uma carta operacional (1:50.000) e algumas cartas de detalhe para melhor identificar os novos índices (1:25.000).

Comparando o mapeamento oficial com o realizado neste estudo, espera-se que com a inclusão de ambientes específicos das regiões fluviais a classificação de sensibilidade aos derrames de óleo seja aperfeiçoada. Foram criadas 6 novas classes, englobando escarpas, regiões urbanizadas e as diferentes margens vegetadas. A principal modificação em relação ao método tradicional é a divisão das margens vegetadas conforme a importância ecológica, transitoriedade ou não do ambiente e características específicas de cada vegetação como porte e capacidade de regeneração.

Este trabalho pretende contribuir para a gestão de contingência no país trazendo novas perspectivas para a sensibilidade fluvial e motivando maiores estudos nesta linha, já que há poucas informações sobre o impacto do óleo nas margens e nas vegetações. Considera-se que a inclusão de variáveis dinâmicas seria uma alternativa futura para aperfeiçoar a resposta à emergência neste ambiente. Espera-se que este estudo incite complementações e atualizações nas metodologias usuais para a classificação das linhas de costa.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Mapear com o método do ISLF outros ambientes fluviais ou lagunares da região sul para avaliar a aplicabilidade da metodologia apresentada;
- Desenvolver trabalhos voltados a diferenciação da sensibilidade ao óleo das diversas espécies de vegetação que compõe as margens fluviais, já que esta foi uma lacuna encontrada durante o desenvolvimento do trabalho;
- Aprimorar o ISLF considerando inserir variáveis dinâmicas na classificação das margens, como: nível, vazão e direção e intensidade dos ventos;
- Aplicar na região de estudo de análises de risco, diferenciando as vias navegáveis, e diferentes cenários frente às variações de nível.

Referências Bibliográficas

ADAMS, J.K.; HEIKAMP, A.J.; HANNAH R.P. Method for ranking biological resources in oil spill response planning. **Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference**, v. 1983, p. 159-164, 1983.

ADLER, E.; INBAR, M. Shoreline sensitivity to oil spills, the Mediterranean coast of Israel: Assessment and analysis. **Ocean & Coastal Management**, v. 50, p. 24–34, 2007.

ALBARELLO, L.C. Avaliação Ambiental Da Área do Banhado 4 Afetada Por Vazamento De Petróleo – REPAR, Araucária, PR. **Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 111p., 2008.

ALMEIDA, E. F. Uso de Dados Multisensor para geração de Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo, nos Ecossistemas Costeiros da Região do Cabo Norte, Amapá. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto INPE**, Natal, p. 4543-4551, 2009.

ANDRADE, M. M.N.; SZLAFSZTEIN, C. F.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; ARAÚJO, A. R.; GOMES, M. K. T. A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: A case study using GIS and remote sensing. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p.1972-1980, 2010.

ANTAQ. Anuário Estatístico Aquaviário 2010. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2010/body/index.htm>, 2011

_____. Anuário Estatístico Aquaviário 2011. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2011/body/index.htm>, 2012

_____. Anuário Estatístico Aquaviário 2012. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2012/body/index.htm>, 2013

_____. Anuário Estatístico Aquaviário 2013. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2013/body/index.htm>, 2014

ARAÚJO, S.I.; SILVA, G.H.; MUEHE, D. Manual Básico para Elaboração de Cartas de Sensibilidade no Sistema PETROBRAS. Rio de Janeiro: **Cenpes/Petrobras**; 170 pp, 2000.

ARAÚJO, S.I.; SILVA, G.H.; MUEHE, D. Mapas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo: Ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Rio de Janeiro: **Cenpes/Petrobras**; 168 pp, 2006.

ARAÚJO, M. M; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A.; BARROS, P. L. C.; FRANCO, S. Análise de Agrupamento da Vegetação de um Fragmento de Floresta Estacional Decidual Aluvial, Cachoeira do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 133-147, 2004.

ATLAS EÓLICO DO RIO GRANDE DO SUL. 2012. **Secretaria de Energia, Minas e Comunicações, SEMC**. Porto Alegre, 70 p.

BACA, B.J.; GETTER, C.D.; LINDSTEDT-SIVA J.. Freshwater oil spill considerations: protection and cleanup. **Proceedings of the 1985 Oil Spill Conference**, v. 1985, p.385-390. 1985.

BAYARDINO, R. A. A Petrobras e o Desafio da Sustentabilidade Ambiental. **Trabalho de conclusão de curso de Economia**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 65p., 2004.

BRASIL. Decreto Nº 43/98, de 29 de maio de 1998. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília: **Imprensa Nacional**; 1998.

_____. Decreto Nº 2.508/98, de 4 de março de 1998. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília: **Imprensa Nacional**; 1998.

_____. Lei nº 9.966/2000, de 28 de abril de 2000. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília: **Imprensa Nacional**; 2000.

_____. Decreto Nº 4.871/2003, **de 6 de novembro de 2003**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília: **Imprensa Nacional**; 2003.

_____. Resolução CONAMA nº 398 de 11 de junho de 2008. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Publicado no diário Oficial da União (DOU), Ano CXLV, nº- 111, Seção 1, p.101-105, 2008.

_____. Lei nº 12.651/2012, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília: **Imprensa Nacional**; 2012.

_____. Decreto Nº 8.127/2013, **de 22 de outubro de 2013**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília: **Imprensa Nacional**; 2013.

BOULHOSA, M. B. M.; SOUZA FILHO, P. W. M. Reconhecimento e mapeamento dos ambientes costeiros para geração de mapas de ISA ao derramamento de óleo, Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.27(Supl. 1), p.23-37, 2009.

CANTAGALLO, C; GARCIA, G.J.; MILANELLI, J.C.C. Mapeamento de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo do sistema estuarino de Santos, estado de São Paulo. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, v. 12(2), p.33-47, 2008.

CARVALHO, A. B. P.; OZORIO, C. P. Avaliação sobre os banhados do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 1 (2), p. 83-95, 2007.

CASTANEDO, S.; JUANES, J.A.; MEDINA, R.; PUENTE, A.; FERNANDEZ, F.; OLABARRIETA, M.; POMBO, C. Oil spill vulnerability assessment integrating physical, biological and socio-economical aspects: Application to the Cantabrian coast (Bay of Biscay, Spain). **Journal of Environmental Management**, v.91, p.149–159, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, SP, 188p. 1980.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Derrames de óleo no mar e ecossistemas costeiros. São Paulo: **Apostila de curso**, 2002.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. Principais Acidentes com Óleo no Brasil. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/emergencias-quimicas/panorama-geral/Principais-Acidentes-Brasil-tab1.pdf> Acesso em 10 de agosto de 2014.

CHIAPETTI, A. B. Ocupação do Parque estadual Delta do Jacuí: conflitos de uso territorial. **Dissertação de Mestrado em Geografia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 125p., 2005.

CORENBLIT, D.; BAAS, A.C.W.; BORNETTE, G.; DARROZES, J.; DELMOTTE, S.; FRANCIS, R. A.; GURNELL, A. M.; JULIEN, F.; NAIMAN, R. J.; STEIGER, J. Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface processes and landforms: A review of foundation concepts and current understandings. **Earth-Science Reviews**, v.106, p.307–331, 2011.

COSTA, D. M. Estabelecimento De Um Índice De Sensibilidade Ambiental Ao Óleo Em Ambientes Fluviais, Com O Suporte Da Ferramenta MORPH. **Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente**, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 196p., 2013.

DELANEY, P. 1965. Fisiografia e geologia da superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial da Escola de Geologia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 6: 1-195.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Inland Sensitivity Atlas - Reference Manual. **Inland Sensitivity Mapping Project Version. 1.1.** 91p., 2000.

FATTAL, P.; MAANAN, M.; TILLIER, I.; ROLLO, N.; ROBIN, M.; POTTIER, P. Coastal vulnerability to oil spill pollution: the case of Noirmoutier Island (France). **Journal of Coastal Research**, v. 26(5), p.879–887, 2010.

FERREIRA, M. F.; BEAUMORD, A. C. Mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo nos cursos de água da bacia do rio Canhanduba, Itajaí, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 12 (2), p. 61-72, 2008.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL RIO GRANDE DO SUL, FEPAM. Região Hidrográfica Do Guaíba. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>. Acesso em 02 de março de 2013.

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL. Plano de Manejo de Parque Estadual Delta do Jacuí – Encarte II “Análise da UC”. **Fundação Zoobotânica RS**: Porto Alegre, 158p., 2013.

GABINETE DA DEFESA CIVIL – GADEC PORTO ALEGRE. Medição Diária na Ilha da Pintada e Parque Harmonia. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/codec/default.php?p_secao=72. Acesso em 15 de agosto de 2014.

GUNDLACH, E. R.; HAYES, M. O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**, v.12, p.18-27, 1978.

GURNELL, A. M.; BERTOLDI, W.; CORENBLIT, D. Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. **Earth-Science Reviews**. V.111, p. 129–141, 2012.

HAYES, M. O.; MICHEL, J.; DAHLIN, J. A. Identifying and mapping sensitive resources for inland area planing. **International Oil Spill Conference**. 1995, p. 365-371.

HAYES, M.O.; MICHEL, J.; MONTELLO, T. M. The Reach Sensitivity Index (RSI) for Mapping Rivers and Streams. **International Oil Spill Conference Proceedings 1997**, v. 1997(1), p. 343-350. 1997.

HANNA, R.G.M. An approach to evaluate the application of vulnerability index for oil spills in tropical Red Sea environments. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 2, p.181-186, 1995.

HEGDE, A.V.; REJU, V.R. Development of coastal vulnerability index for Mangalore coast, India. **Journal of Coastal Research**, v.23(5), p.1106–1111, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS - IBAMA. **Banhados**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>> Acesso em: 28 de setembro 2014.

_____. **Relatório Acidentes Ambientais 2010**. Brasília: 2011. 32 p.

_____. **Relatório Acidentes Ambientais 2011**. Brasília: 2012. 28 p.

_____. **Relatório Acidentes Ambientais 2012**. Brasília: 2013. 27 p.

_____. **Relatório Acidentes Ambientais 2013**. Brasília: 2014. 36 p.

IHAKSI, T.; KOKKONEN, T.; HELLE, I.; JOLMA, A.; LECKLIN, T.; KUIKKA, S. Combining Conservation Value, Vulnerability, and Effectiveness of Mitigation Actions in Spatial Conservation Decisions: An Application to Coastal Oil Spill Combating. **Environmental Management**, v.47, p.802-813, 2011.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION - IPIECA. Sensitivity mapping for oil spill response. **IPIECA**. Londres: 40p., 2012.

INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED ITOPF. 2012. Technical Information Paper No. 13. Effects of Oil Pollution on the marine environment. **ITOPF**. London: 11 p., 2012.

JENSEN, J. R.; HALLS, N. J.; MICHEL, J. A system approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 64 (10), p. 1003-1014, 1998.

LIMA, M. V.; DIAS-BRITO, D.; MILANELLI, J. C. C. Mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo em Ilhabela, São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.60(02), p. 145-154, 2008.

MARINHO, C. Avaliação do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) no âmbito das Cartas SAO: Identificação de lacunas e proposição das variáveis biológicas em sua composição. **Trabalho de conclusão de curso de Oceanologia**. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 82p., 2012.

MARTINS, K. A. **Definição de ambientes quanto ao grau de exposição à energia hidrodinâmica no Lago Guaíba e Lagoa dos Patos no contexto do Índice de Sensibilidade Ambiental do Litoral (ISL) Trabalho de conclusão de curso de Oceanologia**. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 59p., 2013

MARTINS, P.T.A.; RIEDEL, P. S.; MILANELLI, J.C.C.; STURARO, J. R. Carta da Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo em Rodovias: Aplicação Piloto na Estrada dos Tamoios (SP-099), Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66(1), p. 59-74, 2014.

MELO, C. L.; BASTOS NETO, A. C.; CAICEDO, N. O. L.; SCHWARZ, M. R. Contaminação do Lençol Freático pelo Vazamento de Óleo na Refinaria Presidente Getúlio Vargas - REPAR, Município de Araucária, Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8 (1), p.13–19, 2003.

MENDES, R. F.; MINNITI, V.; LOPES, C. F.; MILANELI, J.C.C.; TORRES, C.; YOGUI, R.; RODRIGUES, G.; MARIZ, E. MARA – Elaboração de Metodologia para Análise dos Riscos Ambientais. **Rio Pipeline Conference & Exposition**, Rio de Janeiro, 2005.

MENEGAT, R., PORTO, M.L., CARRARO, C.C., FERNANDES, L.A.D. (coords.). Atlas Ambiental de Porto Alegre. **Edufrgs**, Porto Alegre, 256 p., 2006.

MICHEL, J; HAYES, M. O.; BROWN, P. L. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of Lower Cook Inlet, Alaska. **Environment Geology**, v. 2 (2), p. 107-117, 1978.

MICHEL, J., M. HAYES, J. DAHLIN, AND K. BARTON. Sensitivity Mapping of Inland Areas: Technical Support to the Inland Areas Planning Committee Working Group, HAZMAT Report 95-4, **NOAA Hazardous Materials Response and Assessment Div.**, Washington, D.C., 54 p. 1994.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Gerência de Qualidade Costeira do Ar. 107p., 2007.

MOE, K.A.; SKEIE, G.M.; BRUDE, O.W.; LOYAS, S.M.; NEDREBO, M. & WESLAWISKI, J.M. The Svalbard intertidal zone: a concept for the use of GIS in applied oil sensitivity, vulnerability and impact analyses. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 6, p.187-206, 2000.

MÖLLER O. O., LORENZZETTI J. A., STECH J. L.; MATA M. M. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. **Continental Shelf Research**, v.16(3), p.335-351, 1996.

MULER, M.; ROMERO, A.F.; RIEDEL, P.S.; PERINOTTO, R.R.C. Ações de Resposta para Emergência em caso de Derrames de Óleo no Mar e Proposta de Implementação de Sistema de Informação voltado à Sensibilidade Ambiental para o Litoral Sul Paulista, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.11(4), p.397-407, 2011.

NANSINGH, P.; JURAWAN, S. Environmental sensitivity of a tropical coastline (Trinidad, West Indies) to oil spills. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 5(2), p.161-172, 1999.

NICOLODI, J. L.; TOLDO, E. E.; FARINA, L. 2010. Dinâmica e ressuspensão por ondas no Lago Guaíba (RS, Brasil) e implicações nos locais de captação de água para abastecimento humano. **Publicação em Pesquisas e Geociências**, UFRGS, v. 37, p. 25-39, 2010.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. Environmental sensitivity index guidelines, Version 3.0. **NOAA Technical Memorandum**. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, 89 p., 2002.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. Sensitivity of Estuarine and Riverine Environments and Wildlife to Spilled Oil
Columbia River Atlas. **NOAA Technical Memorandum**. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, 2004.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - **NOAA**. Hudson River. Resource Atlas **NOAA Technical Memorandum**. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, 2006.

OLIVEIRA, M. L. A. A. Análise do padrão de distribuição espacial de comunidades vegetais do Parque Estadual Delta do Jacuí – Mapeamento e subsídios ao zoneamento da Unidade de Conservação. **Tese de Doutorado em Ciências**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 234p. 1998.

OLIVEIRA, M. L. A. A. Fatores condicionantes da distribuição espacial de comunidades vegetais no Parque Estadual Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul. Em: **Conhecer para gerenciar : aspectos ambientais e sociais da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba**. Porto Alegre: Nova Prova, p. 194-200, 2007.

OLIVEIRA, E. B. Determinação da Influência de Sangradouros na Sensibilidade ao Óleo das Praias Arenosas do RS. **Trabalho de conclusão de curso de Oceanologia**. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 65p., 2014.

O’SULLIVAN A.J., JACQUES, T.G. Impact Reference System. Effects of Oil in the Marine Environment: Impact of Hydrocarbons on Fauna and Flora. **European Commission**. Directorate General Environment. Bélgica. Internet edition, 2001.

OYEDEPO, J.A.; ADEOFUN, C.O. Environmental sensitivity index mapping of lagos shorelines. **Global NEST Journal**, v.13 (3), p. 277-287, 2011.

OWENS, E. H.; ROBILLIARD, G. A. Shoreline sensitivity and oil spills – a re-evaluation for the 1980’s. **Marine Pollution Bulletin**. v. 12 (3), p. 75-78, 1981.

PEZESHKI, S.R.; HESTER, M.W.; LIN, Q.; NYMAN, J.A. The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review. **Environmental Pollution**, v. 108, p. 129-139, 2000.

PILCHOWSKI, R. W. Avaliação dos Impactos de Derramamento de Óleo Sobre a Ictiofauna do Altíssimo, Alto e Médio Rio Iguaçu, Paraná, Brasil. Dissertação de Mestrado em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

PINCINATO, F.L.; RIEDEL, P.S.; MILANELLI, J.C.C. Modelling an expert GIS system based on knowledge to evaluate oil spill environmental sensitivity. **Ocean & Coastal Management**, v. 52, p.479–486, 2009.

SCIPIONI, M. C.; GALVÃO, F.; LONGHI, S. J. Composição Florística e Estratégias de Dispersão e Regeneração de Grupos Florísticos em Florestas Estacionais Deciduais no Rio Grande do Sul. **Floresta**, Curitiba, v. 43 (2), p. 241 - 254, 2013.

SOUZA FILHO, P. W. M.; PROST, T. R. C.; MIRANDA, F. P.; SALES, M. E. C.; BORGES, H. V.; COSTA, F. R.; ALMEIDA, E. F.; NASCIMENTO JUNIOR, W. R. **Environmental Sensitivity Index**

(ESI) mapping of oil spill in the Amazon coastal zone: the PIATAM mar project. Revista Brasileira de Geofísica, v. 27 (Supl. 1), p. 7-22, 2009.

TAVARES, M. C. M.; VOLKMER-RIBEIRO, C. e DE ROSA-BARBOSA, R. Primeiro registro de *Corvoheteromeyenia australis* (Bonetto & Ezcurra de Drago) para o Brasil com chave taxonômica para os poríferos do Parque Estadual Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia.**, v. 20 (2), p. 169-182, 2003.

TEIXEIRA, M. B.; COURA NETO, A. B.; PASTORE, U.; RANGEL FILHO, A. R. L. Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo Fitogeográfico. Em: RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, IBGE, v. 33, 1986.

THOMAZ, S. M.; ROBERTO, M. C.; BINI, L. M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. Em: Vazzoler, A. E. A. M.; Agostinho, A. A.; Hahn, N. S. (Eds.). **A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos.** Maringá, EDUEM, p. 73-102, 1997.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOOCK, J. A. Mapeamento Geológico de Planície Costeiras: o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. **GRAVEL**, Porto Alegre, v. 3, p. 109-115, 2005.

TORTELL, P. Coastal Zone Sensitivity Mapping and Its role in Marine Environmental Management. **Marine Pollution Bulletin**, v. 25, p. 88-93, 1992.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Identificação das alternativas possíveis e prováveis para regularização das vazões do rio Gravataí, **Instituto de Pesquisas Hidráulicas.** Porto Alegre: CPRM, p. 1-8. 2002.

VAFAI, F.; HADIPOUR, V.; HADIPOUR, A. Determination of shoreline sensitivity to oil spills by use of GIS and fuzzy model. Case study e The coastal areas of Caspian Sea in north of Iran. **Ocean & Coastal Management**, v. 71, p.123-130, 2013.

VAZ, A. C.; MOLLER JR, O. O.; ALMEIDA, T. L. Análise Quantitativa da Descarga dos Rios Afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, Rio Grande, v. 28(1), p. 13-23, 2006.

VILLWOOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas.** Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, v. 8, p.1-46, 1995.

WIDHOLZER, F. Banhados do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Riocell S. A., 40 p., 1986.

WIECZOREK, A.; DIAS-BRITO, D.; MILANELLI, J.C.C. Mapping oil spill environmental sensitivity in Cardoso Island State Park and surroundings areas, São Paulo, Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 50, p.872-886, 2007.

ZENGEL, S.; HAYES, M.O; MICHEL, J.; WHITE, M.; BENGGIO,B.; MOSHER, E.; LOPEZ, F.; TOUW, S. Integrated Planning From the Mountains to the Sea: Environmental Sensitivity Mapping In the Caribbean. **International Oil Spill Conference Proceedings 2001**, v. 2001(2), p.1113-1117, 2001.

