

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELECTUAL DA UNICAMP

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

<https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/78106>

DOI: 10.22456/1807-9806.78106

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2015 by UFRGS/Instituto de Geociências. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>

Utilização do Modelo Orientado à Representação do Pensamento Humano (MORPH) no estabelecimento do Índice de Sensibilidade Fluvial (ISF): uma proposta de contribuição à Classificação da Sensibilidade Ambiental ao Óleo

Daiana Marques COSTA¹, Paulina Setti RIEDEL¹, Cenira Maria Lupinacci da CUNHA² & Antonio Carlos ZAMBON³

1. Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Av. 24 A, 1515, Bela Vista, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil. E-mail: daianamcosta@gmail.com, psriedel@rc.unesp.br.

2. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Av. 24 A, 1515, Bela Vista, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil. E-mail: cenira@rc.unesp.br.

3. Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas. Rua Paschoal Marmo, 1888, Jardim Nova Itália, CEP 13484-332, Limeira, SP, Brasil. E-mail: zambon@ft.unicamp.br.

Recebido em 28/02/2014. Aceito para publicação em 13/03/2015.
Versão online publicada em 30/04/2015 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - Este trabalho apresenta a utilização do MORPH (Modelo Orientado à Representação do Pensamento Humano), como uma ferramenta de análise para apoio à criação de um sistema de classificação que visa determinar a sensibilidade ambiental ao óleo de ambientes fluviais, baseado nos principais sistemas de classificação do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e da Petrobras S.A. para ambientes fluviais. Essa proposição se deve em razão da recorrência de acidentes envolvendo derramamentos de óleo em áreas continentais, com danos aos cursos fluviais, e à lacuna gerada pela ausência de um sistema de classificação abrangente, que atenda aos mais diversos tipos de ambientes fluviais, pois grande parte dos estudos de sensibilidade está voltada aos ambientes costeiros. O MORPH auxiliou na comparação de muitas variáveis interdependentes, identificando parâmetros físicos fundamentais para estabelecer os ambientes fluviais que fazem parte o Índice de Sensibilidade Fluvial (ISF), incluindo: margens rochosas, estruturas artificiais, praias, bancos de substrato lamoso, barras de meandro, diques naturais, margens vegetadas e planícies de inundação associadas a vegetação. O ISF relaciona as características físicas que influenciam diretamente na persistência natural, na dispersão e nas condições de limpeza e/ou remoção do óleo, com reflexo direto no grau de impacto.

Palavras-Chave: sensibilidade fluvial ao óleo, mapeamento de sensibilidade ambiental ao óleo, cartas SAO, geomorfologia fluvial.

Abstract - THE UTILIZATION OF THE HUMAN THINKING REPRESENTATION ORIENTED MODEL (MORPH) FOR THE ESTABLISHMENT OF A FLUVIAL SENSITIVITY INDEX (FSI): A PROPOSED CONTRIBUTION TO THE ENVIRONMENTAL SENSITIVITY TO OIL CLASSIFICATION. This paper presents the using of the Human Thinking Representation Oriented Model (MORPH) as analysis tool as support to the creation of a classification system, that aims to determine the environmental sensitivity to oil in waterways, based on the main classification system by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and by the Petrobras S.A. to river environment. This proposal came about because of ever increasing reoccurrences of oil spills in areas on the continent, causing environmental damage to waterways and the lack of a broad classification system that meets the needs of the different environments found in waterways, once the main sensitivity studies are directed towards coastal settings. The MORPH simplified the comparison of many interdependent variables, identifying the fundamental physical parameters for establish the fluvial environments that make up the Fluvial Sensitivity Index (FSI), for instance: rocky shores, artificial structures, beaches, muddy substrate banks, point-bars, natural dikes, vegetated shores and flood plains associated with vegetation. The FSI relates the physical characteristics that influence directly natural persistence, dispersion and the cleaning and/or removal of oil conditions, which is directly reflected on the impact level.

Keywords: Fluvial sensitivity to oil, environmental sensitivity to oil mapping, SAO maps, fluvial geomorphology.

1 Introdução

O sistema de classificação de sensibilidade ambiental ao óleo consiste em uma escala que hierarquiza os diversos tipos de ambientes fluviais em um *ranking* de sensibilidade que varia de 1 a 10, onde quanto maior o valor, maior é a sensibilidade do ambiente à contaminação por óleo. O sistema de classificação foi desenvolvido inicialmente na década de 1970, para os ambientes costeiros dos Estados Unidos. No Brasil, um sistema oficial foi elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente, em 2002, que apresentou uma classificação de sensibilidade adaptada ao litoral brasileiro. Esse sistema consiste em elemento essencial ao mapeamento de sensibilidade ambiental ao óleo.

A elaboração de um sistema de classificação de sensibilidade se deu em razão dos grandes acidentes envolvendo vazamentos de óleo e derivados, que ocorreram na última década do século passado, ocasionando grandes prejuízos ambientais aos ecossistemas marinho e impactando de forma negativa as populações humanas, a biota e consequentemente a economia.

Um dos acidentes mais emblemáticos do século XX, em ecossistemas marinho, ocorreu em 1989 na costa do Alasca, onde o navio petroleiro Exxon Valdez da companhia Exxon Mobil, encalhou na Baía de Prince William e lançou ao mar aproximadamente 257.000 barris de óleo, causando sérios danos ambientais (Birkland & Laurence, 2002). Acidentes como este se tornaram recorrentes nos últimos 40 anos, devido à grande demanda pela produção de hidrocarbonetos.

Mesmo com as sanções legislativas de âmbito nacional e internacional, acidentes de grandes proporções continuam a ocorrer. No ano de 2010, por exemplo, o Golfo do México sofreu com uma das maiores catástrofes ambientais da história, onde uma explosão na plataforma de petróleo da companhia British Petroleum liberou 779 mil toneladas de óleo ao mar, atingindo a costa de cinco estados norte-americanos (Louisiana, Texas, Mississippi, Alabama e Flórida). Os efeitos deste acidente são sentidos até hoje, pois causou danos irreparáveis à biota e às populações humanas.

Acidentes envolvendo derramamentos de óleo em regiões continentais, também se tornaram recorrentes, devido, principalmente, ao transporte desse tipo de produto por extensas malhas rodoviárias, oleodutos subterrâneos ou em superfície, embarcações e armazenamento com potenciais de danos ambientais ao solo e aos cursos fluviais.

Nos últimos sete anos, o transporte rodoviário contribuiu, predominantemente, com o nú-

mero de acidentes envolvendo principalmente os setores químico, petroquímico e refino de petróleo no Brasil. Como resultado foi possível verificar que os cursos fluviais são um dos ambientes mais afetados por esse tipo de acidente, totalizando 21%. Porcentagem semelhante é atribuída aos danos ocasionados em ambientes marinhos (IBAMA, 2013).

Com base neste contexto, e por não haver um sistema de classificação de ampla aceitação para os ambientes fluviais, este trabalho pretende ampliar as discussões sobre a temática, propondo um sistema de classificação com base nos sistemas existentes mais utilizados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), pela Petrobras S.A. para ambientes fluviais, bem como pela proposta de outros autores.

O sistema de classificação proposto foi denominado Índice de Sensibilidade Fluvial (ISF) para acompanhar as denominações atribuídas aos sistemas de classificação costeiro norte-americano, conhecido como Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA), e brasileiro, conhecido como Índice de Sensibilidade Litorâneo (ISL). O ISF considera as características físicas que influenciam diretamente na persistência natural, na dispersão e nas condições de limpeza e/ou remoção do óleo. O índice proposto é resultado de uma pesquisa teórica, ainda não testado, e poderá ser aplicado aos mais diversos ambientes fluviais nacionais para avaliar sua eficácia.

Para a seleção e análise dos diversos sistemas de classificação ao qual este trabalho faz referência, considerou-se necessário buscar uma ferramenta capaz de evidenciar e analisar uma grande quantidade de variáveis interdependentes, na tentativa de identificar os parâmetros físicos fundamentais ao estabelecimento da sensibilidade ao óleo, bem como os principais ambientes fluviais comuns às regiões de clima quente e úmido. Dessa forma, utilizou-se uma ferramenta denominada MORPH (Modelo Orientado à Representação do Pensamento Humano).

2 Referencial teórico

2.1 Sistemas de classificação de sensibilidade ambiental ao óleo em cursos fluviais

Os trabalhos mais citados na atualidade foram desenvolvidos por Michel *et al.* (1994) e Hayes *et al.* (1995) e consistem em documentos elaborados para o NOAA com base no sistema de classificação e na metodologia de mapeamento utilizada para a

costa norte-americana. Este sistema consiste em uma escala de sensibilidade com variação de 1 a 10 (10 maior sensibilidade) com cores padronizadas, para o mapeamento de ambientes lacustrinos, estuarinos e fluviais, como mostra o quadro 1. Os documentos também definiram modelos de sensi-

bilidade para rios meandantes de médio porte e para bacias hidrográficas que abrangem pequenos rios e córregos. O mapeamento abrangeu os componentes bióticos e socioeconômicos de forma pontual e tem-se mostrado uma ferramenta de planejamento e resposta eficaz por cerca de 15 anos.

Quadro 1. Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA) para ambientes de água doce proposto por Michel *et al.* (1994, p. 30) e Hayes *et al.* (1995, p. 366).

ISA	Estuários	Lagos	Rios (grandes rios)
1A	Costões rochosos expostos	Paredões rochosos expostos	Bancos rochosos expostos
1B	Paredões artificiais expostos	Estruturas artificiais rígidas expostas	Revestimentos sólidos verticais
2	Plataformas de argila erodidas pelas ondas	Penhascos rochosos com depósito de tatus, expostos	Bancos de rochas, lajes de leito rochoso
3	Praias de areia fina	Escarpas erodidas em sedimentos inconsolidados	Margens erodidas em sedimentos inconsolidados
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	Praias mistas de areia e cascalho de baixa declividade
6A	Praia de cascalho	Praia de cascalho	Praia de cascalho de baixa declividade
6B	Enrocamentos	Enrocamentos	Enrocamentos
7	Planícies de maré expostas	Planícies de maré expostas	—
8A	Costões rochosos abrigados	Escarpas abrigadas em rocha, lama ou barro	Escarpas íngremes vegetadas
8B	Estruturas artificiais sólidas abrigadas	Estruturas artificiais sólidas abrigadas	Estruturas artificiais sólidas abrigadas
9A	Planícies de maré abrigadas	Bancos de vegetação herbácea abrigados	Bancos de vegetação herbácea
9B	—	Bancos de areia ou lama abrigados	Substrato lamoso (não vegetado)
10A	Pântanos salobros e salgados	—	—
10B	Manguezais	—	—
10C	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)
10D	Pântanos de água doce (vegetação de mata)	Pântanos de água doce (vegetação de mata)	Pântanos de água doce (vegetação de mata)

Outra proposta que merece destaque refere-se ao trabalho de Hayes *et al.* (1997), que apresentaram uma classificação de rios e córregos baseada em dois critérios primários: o primeiro corresponde ao grau de dificuldade em conter ou recuperar a área afetada pelo óleo; e o segundo, a sensibilidade e vulnerabilidade das áreas alagáveis associadas aos cursos d'água. O índice avalia fatores como navegabilidade, padrão da drenagem, tamanho do canal, pontos de coletas de óleo adequados, fugas e bifurcação de canais, tempo de residência do óleo e o número de áreas alagáveis. A classificação apresenta uma variação de 1 a 10 (1 menos sensível). O quadro 2 apresenta essa classificação.

No Brasil, a primeira metodologia que se tem conhecimento foi desenvolvida por Araujo *et al.* (2006) para a Petrobras S.A. no ano de 2001, para os rios amazônicos de Manaus e Coari. Essa metodologia apresentou uma hierarquização das feições fluviais da área. Com base nas informações das feições fluviais amazônicas e nas adaptações

da metodologia proposta pelo MMA, em 2002, para ambientes costeiros, desenvolveu-se um índice de sensibilidade fluvial com variação de 1 a 10 (1 menor sensibilidade e 10 maior), apresentado no quadro 3. Os recursos biológicos foram mapeados pontualmente, identificando as áreas de maior concentração de espécies, as fases ou atividades mais sensíveis do ciclo de vida, bem como as espécies endêmicas e protegidas por lei.

Ferreira & Beaumord (2008) desenvolveram uma metodologia de mapeamento focada em outra realidade brasileira, os cursos d'água da bacia do Rio Canhanduba, no Município de Itajaí, Santa Catarina. Essa apresentou um índice de sensibilidade fluvial com variação de 1 a 10 (10 maior sensibilidade) adaptado do manual do Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2004) para ambientes costeiros. Além do índice que leva em consideração os aspectos físicos, também foram mapeados os recursos bióticos e socioeconômicos de forma pontual. Para os aspectos físicos foram consideradas as caracte-

rísticas geomorfológicas e as feições marginais associadas aos aspectos bióticos e de uso e ocupação. Fatores como correntes, profundidade, largura, bancos de areia, substrato de fundo, declividade marginal, substrato marginal, tipo de vegetação e

Quadro 2. Proposta de classificação de sensibilidade a derramamento de óleo em pequenos rios e córregos do sudeste dos Estados Unidos, proposta por Hayes *et al.* (1997, p. 347).

RSI	Descrição do ambiente
1	Piscinas tranquilas com bancos de baixa sensibilidade.
2	Pequeno canal não navegável com correntes moderadas e bancos de baixa sensibilidade.
3	Canais navegáveis com correntes moderadas e bancos de baixa sensibilidade.
4	Pequeno canal não navegável com corredeiras sobre leito rochoso.
5	Canal navegável com corredeiras sobre leito rochoso.
6A	Pequeno canal não navegável associado a áreas de floresta superior alagáveis de baixa vulnerabilidade
6B	Canal navegável associado a floresta superior alagável de baixa vulnerabilidade
7	Navegável. Baixo gradiente e correntes variáveis (normalmente < 15 nós). Extensas e baixas planícies de inundação. Braços de córregos, paredes de antigos vales com bancos íngremes compostos por sedimentos lamosos ou paredes rochosas. Outro lado do canal com fuga de água associada a pântanos.
8	Navegável. Baixo gradiente e correntes variáveis (normalmente < 15 nós) com fluxo principalmente confinado ao canal reto com bancos relativamente baixos bem definidos. Extensas e baixas planícies de inundação. Associadas a extensos pântanos.
9A	Pequeno canal meandrante não navegável com abundantes pontos de fuga associados a pântanos e a meandros abandonados.
9B	Canais meandantes navegáveis com abundantes pontos de fugas associados a pântanos e a lagos de meandros abandonados.
10A	Pequeno canal anastomosado não navegável com abundantes pontos de fugas em pântanos adjacentes.
10B	Canal anastomosado navegável com abundantes pontos de fugas em pântanos adjacentes.

fauna também foram considerados para a coleta das informações de campo e atribuição dos graus de sensibilidade.

Quadro 3. Índice de sensibilidade fluvial da região amazônica a derrames de óleo proposto por Araujo *et al.* (2006, p. 39).

Índice	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 de rios e lagos
10a	Banco de macrófitas aquáticas
10b	Vegetação alagada (igapós, várzea, chavascal, campo etc.)

2.2 MORPH

O Modelo Orientado à Representação do Pensamento Humano (MORPH) fundamenta seus princípios teóricos em conceitos de *System Dynamics* (SD), *Analytic Hierarchy Process* (AHP), semiótica e psicologia cognitiva. Este modelo consiste em uma ferramenta que possui um conjunto de regras para a representação do conhecimento de agentes especialistas por meio de *frames* (quadros), sobre um contexto específico. Entende-se por conhecimento de agentes especialistas, todo conhecimento construído por agentes humanos sobre um assunto de domínio específico, expresso verbalmente tanto na forma escrita (publicações científicas), quanto falada (entrevistas) (Costa, 2012).

O *frame* MORPH representa a menor unidade de conhecimento de um agente e pode ser entendido como um conceito sobre um determinado problema ou sobre uma situação que se deseja compreender. A estrutura do *frame*, representada na figura 1, evidencia dois eixos: o horizontal, que determina a temporalidade e representa o sistema de recuperação da memória humana; e o vertical, que determina a controlabilidade e representa o controle do agente sobre determinado conceito (objeto). Esses eixos são divididos em nove zonas onde os objetos são organizados (Zambon *et al.*, 2012).

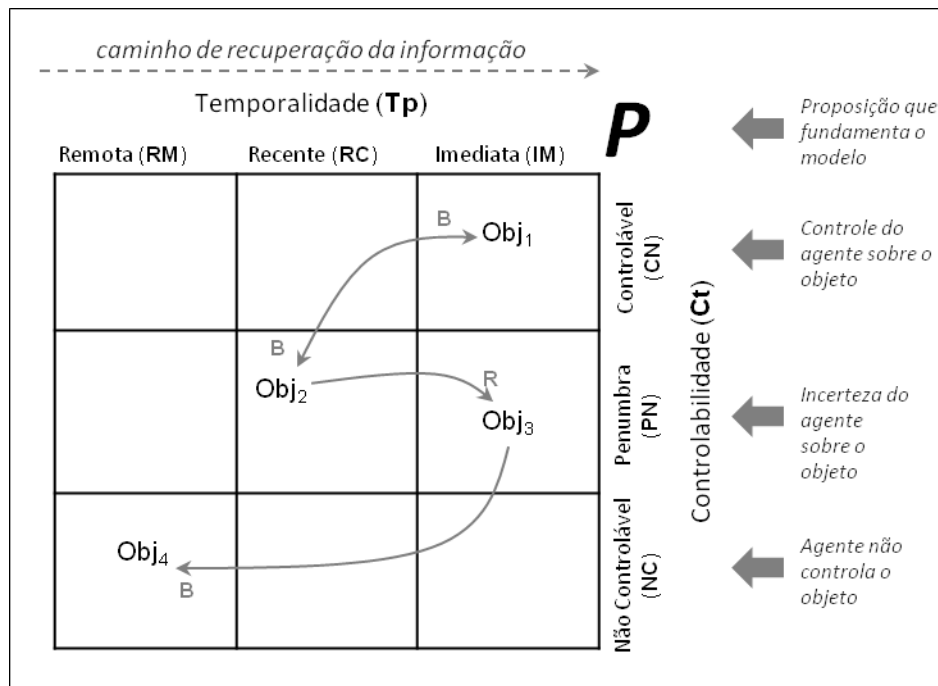


Figura 1. Representação da estrutura do *frame* MORPH, adaptado de Costa (2012, p. 51) e Zambon *et al.* (2012, p. 3).

O *frame* é formado por uma estrutura de sintagmas nominais (SN), denominados objetos (Obj_k), que são declarados a partir de uma rede proposicional (P) escolhida e são unidos por relações de influência (\boxtimes), que formam relações de causa e efeito. Essas relações possuem pesos de equilíbrio, denominados balanço (B), que não dependem de energia, e reforço (R), que é auto amplificador (Costa, 2012).

Para a estruturação do *frame* são utilizadas as seguintes etapas, desenvolvidas por Costa (2012): declaração de uma rede proposicional; declaração dos objetos; organização dos objetos nos eixos de temporalidade e controlabilidade; relacionamento e atribuição de pesos.

A rede proposicional (P) consiste em uma frase que pode ser do tipo declarativa ou interrogativa e descreve uma situação ou problema que se deseja solucionar ou compreender, ou ainda um contexto dentro do qual se deseja decidir. A P deve conter ao menos dois conceitos, onde cada conceito pode fazer referência a mais de um substantivo, em que um conjunto de substantivos é denominado de sintagma nominal (Costa, 2012; Zambon *et al.*, 2012), adaptado por Costa (2014). Como exemplo, segue a situação que este trabalho pretende esclarecer:

P = Quais os aspectos físicos utilizados para avaliar a Sensibilidade Ambiental ao Óleo nos cursos fluviais?

Com base nessa questão, três subredes (subli-

nhadas) são evidenciadas, onde cada uma trata de um conceito (C_i) e para cada C_i define-se um conjunto de critérios (c_j) que determina o significado dos Objetos (Obj_k). A partir de cada C_i os objetos são declarados e posicionados nos eixos do *frame*. O objeto (Obj_k) é um sintagma nominal e pode ser material ou abstrato, pode ser uma sensação, evento, conceito que gere uma ideia e pode ser inclusive outra ideia (Costa, 2012).

Após essa etapa, os objetos são posicionados nos eixos de Temporalidade (T_p) e Controlabilidade (C_t). No eixo T_p encontram-se os atributos: memórias Imediata (IM), Recente (RC) e Remota (RM), onde a (IM) refere-se à capacidade do agente focar a atenção sobre um determinado conteúdo, enquanto a memória recente (RC) refere-se à capacidade do agente associar o conteúdo a questões menos focais, de orientação geral e de estudo de possibilidades, que convergem para um aprofundamento em teorias e conhecimentos básicos e generalistas, descritos na memória de longo prazo (RM) (Costa, 2012).

No eixo C_t encontra-se uma relação de domínio, os atributos Controlável (CN), Penumbra (PN) e Não Controlável (NC), ou seja, uma relação de poder do agente especialista sobre os objetos em relação à rede proposicional (P). No atributo NC , mesmo os objetos fazendo parte da explicação da P , não podem ser controlados pelo agente especialista; no atributo PN , o objeto causa a incerteza em controlar ou não a situação; e no atributo CN , o objeto é declarado controlável pelo agente especialista (Costa, 2012).

Em seguida, os relacionamentos (\rightarrow) e pesos de balanço (**B**) e reforço (**R**) são atribuídos aos objetos. O primeiro compreende a definição do sentido da relação, que é estabelecida por setas e pode indicar dependência ou influência, que pode ser positiva, negativa ou equilibrada, dependendo da intensidade da força da relação (Costa, 2012).

A intensidade com que essa influência ocorre entre os objetos pode ser uma situação de balanço ou reforço. O balanço consiste em uma situação que não despende de energia para ocorrer, pois tende a um equilíbrio, de acordo com Costa (2012, p. 81) “isto demonstra a pressão do “objeto-causa” sobre o “objeto-efeito” para que este segundo atinja um ponto adequado”, regulando o estado. O reforço versa uma situação que amplifica a relação, tanto positivamente quanto negativamente, polarizando o estado.

3 Métodos

O procedimento que balizou toda a pesquisa foi a definição de uma rede proposicional (**P**), ou seja, a pergunta norteadora que descreve o problema que se pretende solucionar. A **P** foi fundamen-

tal para a definição das palavras-chave que contribuíram com a seleção da literatura referente aos conceitos pautados na Sensibilidade Ambiental ao Óleo em cursos fluviais.

Consequentemente, com o auxílio da internet foram realizados três tipos de busca (simples, avançada e booleana) utilizando-se palavras-chave como: sensibilidade ambiental ao óleo, sensibilidade fluvial, *environmental sensitivity index*, *mapping sensitive of inland area*, *fluvial sensitivity*, entre outras. Com base nessas palavras foi possível selecionar publicações científicas que contemplassem o tema da sensibilidade ambiental ao óleo para ambientes fluviais. Posteriormente, as publicações foram analisadas por meio da ferramenta MORPH, a qual auxiliou na identificação dos aspectos físicos (parâmetros e ambientes fluviais) para a definição do índice de sensibilidade fluvial (ISF).

Concomitantemente a essa etapa, a ferramenta permitiu a representação do conhecimento contido em cada texto selecionado, por meio de *frames*, que auxiliaram na análise detalhada e definição dos ambientes que compõem o ISF proposto.

A figura 2 evidencia o processo esquemático aqui desenvolvido.

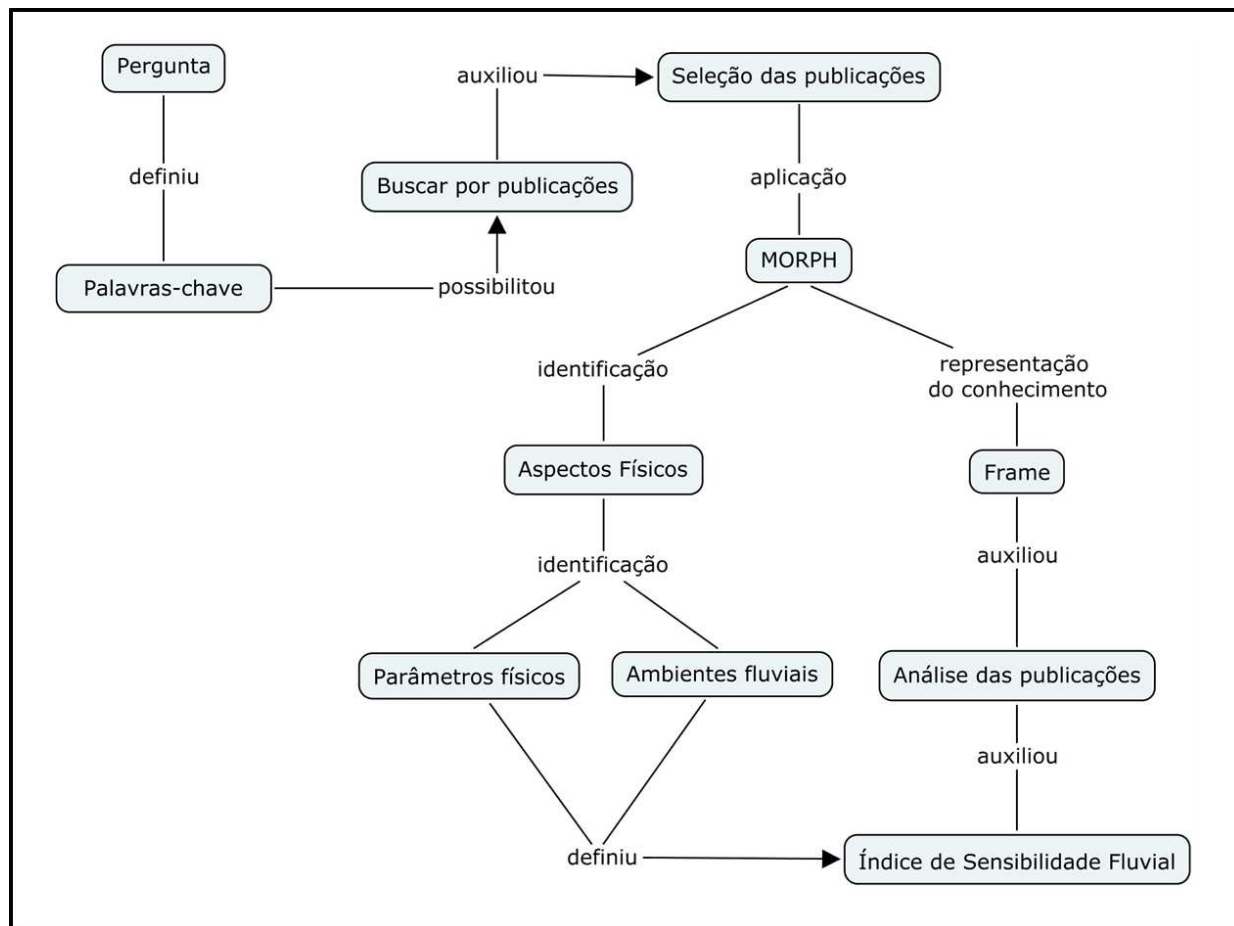


Figura 2. Processo de desenvolvimento da pesquisa.

Buscou-se também a revisão bibliográfica da literatura referente aos conceitos relacionados aos parâmetros físicos, ambientes fluviais, comportamento previsível do óleo e a ferramenta MORPH.

4 Resultados

As publicações científicas selecionadas estão relacionadas no quadro 4, a partir das quais foi possível identificar os resultados da decomposição da **P** por meio da declaração dos objetos.

Quadro 4. Relação de publicações analisadas.

	Título	Autor(es)	Ano	País
1	<i>Identifying mapping sensitive resources for inland area planning</i>	Miles O. Hayes; Jacqueline Michel; Jeffrey A. Dahlin	1995	Estados Unidos
2	<i>The reach sensitivity index (RSI) for mapping rivers and streams.</i>	Miles O. Hayes; Jacqueline Michel; Todd M. Montello	1997	Estados Unidos
3	Mapas de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo: Ambientes costeiros, estuarinos e fluviais.	Solange Irene de Araujo; Gabriel Henrique da Silva; Dieter Muhe	2006	Brasil
4	Mapeamento de sensibilidade ambiental a derrames de óleo nos cursos de água da bacia do rio Canhanduba, Itajaí, SC.	Ferreira, M. F.; Beaumord, A. C.	2008	Brasil

Os resultados obtidos evidenciam as variáveis relacionadas a cada conceito (C_1 - aspectos físicos, C_2 - Sensibilidade Ambiental ao Óleo e C_3 - cursos fluviais), como pode ser visualizado nas figuras 3 e 4.

Em seguida, os objetos foram organizados nos eixos dos *frames* para uma análise detalhada de cada publicação (figuras 5 a 8).

Na figura 5 é possível notar que os objetos “estruturas artificiais” e “enrocamentos”, localizados na zona Controlável (CN) e Imediata (IM), são identificados como os aspectos físicos de maior influência sobre a **P**, porém eles devem ser compreendidos não como os mais importantes do sistema, mas sim como os objetos mais suscetíveis a mudanças a curto prazo, pois são construções feitas pelo homem, diferentemente dos demais aspectos físicos naturais localizados na zona Não Controlável e Imediata, em que as mudanças ocorrem sem interferência humana direta e certamente não acontecem em curto prazo. Outro objeto que se encontra nessa mesma zona CN x IM são as áreas prioritárias de proteção que, além de manter grande influência sobre a **P**, devem ser compreendidas como o objeto prioritário para o planejamento de contingência que subsidia a avaliação da sensibilidade ambiental ao óleo.

Cabe salientar que alguns objetos conceituais estão posicionados em uma área de incerteza (Penumbra), pois é possível controlá-los de forma parcial. Um exemplo é a limpeza da área, em que a mesma só poderá ser definida após a contaminação do ambiente, onde será possível delimitar as estratégias e os materiais a serem utilizados. Ou-

tro exemplo é o levantamento técnico dos recursos naturais, pois este depende, muitas vezes, de dados secundários fornecidos por órgãos públicos ou instituições de pesquisas, que nem sempre os disponibilizam. O mesmo ocorre com os recursos de uso humano, pois se houver um vazamento de óleo não há certeza se esses serão afetados. Esses conceitos representam a incerteza do autor, sendo que os objetos só sofrerão alteração se houver modificação dos objetos aos quais estão interligados e certamente ocorrerão a longo prazo.

Outra zona que apresenta objetos conceituais é a Controlável e Remota, em que esses objetos podem ser controlados, mas seus resultados só ocorrerão a longo prazo, pois para desenvolvê-los há necessidade de estudo aprofundado das informações primárias e secundárias associadas, o que demanda longo tempo para sua realização.

Os objetos da zona Não Controlável e Remota são informações consideradas como secundárias pelo autor, por isso se encontram nessa posição.

Na figura 6, o sistema delineado pelos autores não apresenta objetos posicionados na zona Controlável e Imediata, que seriam objetos suscetíveis a mudanças a curto prazo. Entretanto, apresenta muitos objetos posicionados na zona Não Controlável e Imediata, estes são em grande parte aspectos físicos naturais, onde as mudanças ocorrem sem interferência humana direta e certamente não acontecem em curto prazo. Somente três objetos desta zona não integram os aspectos físicos, como: a dificuldade em conter e recuperar o óleo que é um componente de avaliação da sensibilidade ambiental ao óleo; a vulnerabilidade das áreas alagá-

veis, que indicam o potencial de exposição ao óleo dessas áreas; e a navegabilidade, que consiste em identificar características que viabilizem acesso aos cursos fluviais. Esses objetos dependem de outros aspectos físicos para que seja possível defini-los, por isso ocupam essa posição.

Os objetos posicionados em área de incerteza (Penumbra) são passíveis de controle parcial. Esses objetos ocupam essa posição, pois representam a incerteza do autor, visto que estes dependem da ação de outros objetos para que sejam modificados. Os pontos de coleta de óleo, por exemplo, consideram locais onde o óleo poderá ser desviado para que seja recuperado; isso só pode ser determinado após um vazamento de óleo e de acordo com as feições presentes na área contaminada. Esses dois objetos, por também estarem posicionados na zona Imediata, indicam que qualquer resultado que possa ocorrer, será em curto prazo.

A floresta superior alagável se encontra na zona Recente e Não Controlável, pois de acordo com os autores, dentre as áreas expostas a inundações, esta apresenta menor vulnerabilidade. Além disso, não pode ser controlada e modificada a médio prazo, pois se trata de um aspecto físico natural. Porém, as áreas alagáveis posicionadas na zona Não Controlável e Remota, ocupam essa posição, pois também este é um aspecto físico natural que não pode ser controlado pelo homem, mas pode sofrer mudanças a longo prazo devido à dinâmica erosiva e deposicional natural dos sistemas fluviais.

Na figura 7, o objeto “estruturas artificiais”, localizado na zona Controlável e Imediata, é identificado como o aspecto físico de maior influência sobre a **P**, pois é o objeto mais suscetível a mudanças a curto prazo, pois trata de construções feitas pelo homem, diferente dos demais aspectos físicos naturais localizados na zona Não Controlável e Imediata, em que as mudanças ocorrem sem interferência humana direta e certamente não acontecem a curto prazo.

A área de incerteza (Penumbra) apresenta apenas um objeto “margens de rios e ilhas”, este ocupa essa posição, pois representa a incerteza do autor e pode ser parcialmente controlado, visto que este objeto depende da ação de outros objetos para ser modificado. Cabe salientar que os objetos que ocupam esse quadrante podem mudar seu posicionamento mediante ações externas ao sistema que o conduzam a áreas de certeza (positiva ou negativa).

Os objetos da zona Não Controlável e Remota ocupam essa posição, pois são aspectos físicos naturais que não podem ser controlados pelo homem, e certamente mudanças não podem ser ob-

servadas nesses ambientes a longo prazo, mas isso não quer dizer que não possa haver mudanças a médio e curto prazo.

A figura 8 apresenta os objetos “mata ciliar” e “mapeamento da sensibilidade ambiental” localizados na zona Controlável e Imediata. Esses objetos são identificados como os aspectos físicos de maior influência sobre a **P** e devem ser compreendidos como os mais suscetíveis a mudanças a curto prazo, pois o mapeamento segue regras estabelecidas pelo homem, onde as mesmas podem ser alteradas quando houver necessidade e a mata ciliar é o aspecto físico natural mais sujeito a ações antrópicas e até mesmo naturais. Assim, esses diferem dos demais aspectos físicos naturais localizados na zona Não Controlável e Imediata, em que as mudanças ocorrem sem interferência humana direta e certamente não acontecem a curto prazo. Bem como os aspectos físicos naturais localizados na zona Não Controlável e Remota, em que as mudanças ocorrem sem interferência humana direta e certamente não acontecem a longo prazo.

O objeto “escala de sensibilidade” localizado na zona Não Controlável e Recente, ocupa essa posição, pois a escala foi considerada como uma ferramenta de avaliação da sensibilidade que está vinculada diretamente ao mapeamento de sensibilidade. A mesma pode ser considerada um aspecto não controlável, pois poderá sofrer alterações se os objetos aos quais ela está vinculada também forem modificados, mas devido ao posicionamento da escala é certo afirmar que tais alterações não ocorrem a médio prazo.

Diante do exposto conclui-se que os fatores de maior relevância na determinação da Sensibilidade Ambiental ao Óleo são as correntes fluviais e a mata ciliar, pois o fluxo das correntes influenciam no tempo de permanência do óleo no ambiente, bem como a estabilidade do tipo de substrato de fundo que determina a diversidade de espécies; e a mata ciliar, que está diretamente relacionada a ações antrópicas que interferem nas ações de resposta.

Cabe ressaltar que a constituição do *frame* representa a rede proposicional definida por este estudo, por isso os objetos se encontram nas posições apresentadas. No entanto, para a extração de informações em outra perspectiva é necessário a elaboração de um nova rede proposicional que possibilite outras conclusões.

De acordo com a análise apresentada, cinco parâmetros físicos puderam ser selecionados para o estabelecimento da sensibilidade e composição do sistema de classificação como: tipo e natureza do substrato (margem e fundo), hidrodinamismo,

declividade das feições marginais, fácies dos sistemas deposicionais fluviais e vegetação.

Com base nesses parâmetros e nos ambientes apresentados nas publicações analisadas, dez foram considerados mais importantes para a composição do Índice de Sensibilidade Fluvial (ISF) proposto; após a padronização dos termos ficaram

da seguinte forma: margem rochosa, estruturas artificiais, praias, formas topográficas erosivas (leitos rochosos com rápidos e corredeiras; cachoeiras), bancos de substrato lamoso, ilhas, barras de meandro, diques naturais, vegetação ciliar, planícies de inundação associada à vegetação. O quadro 5 apresenta o ISF definido neste trabalho.

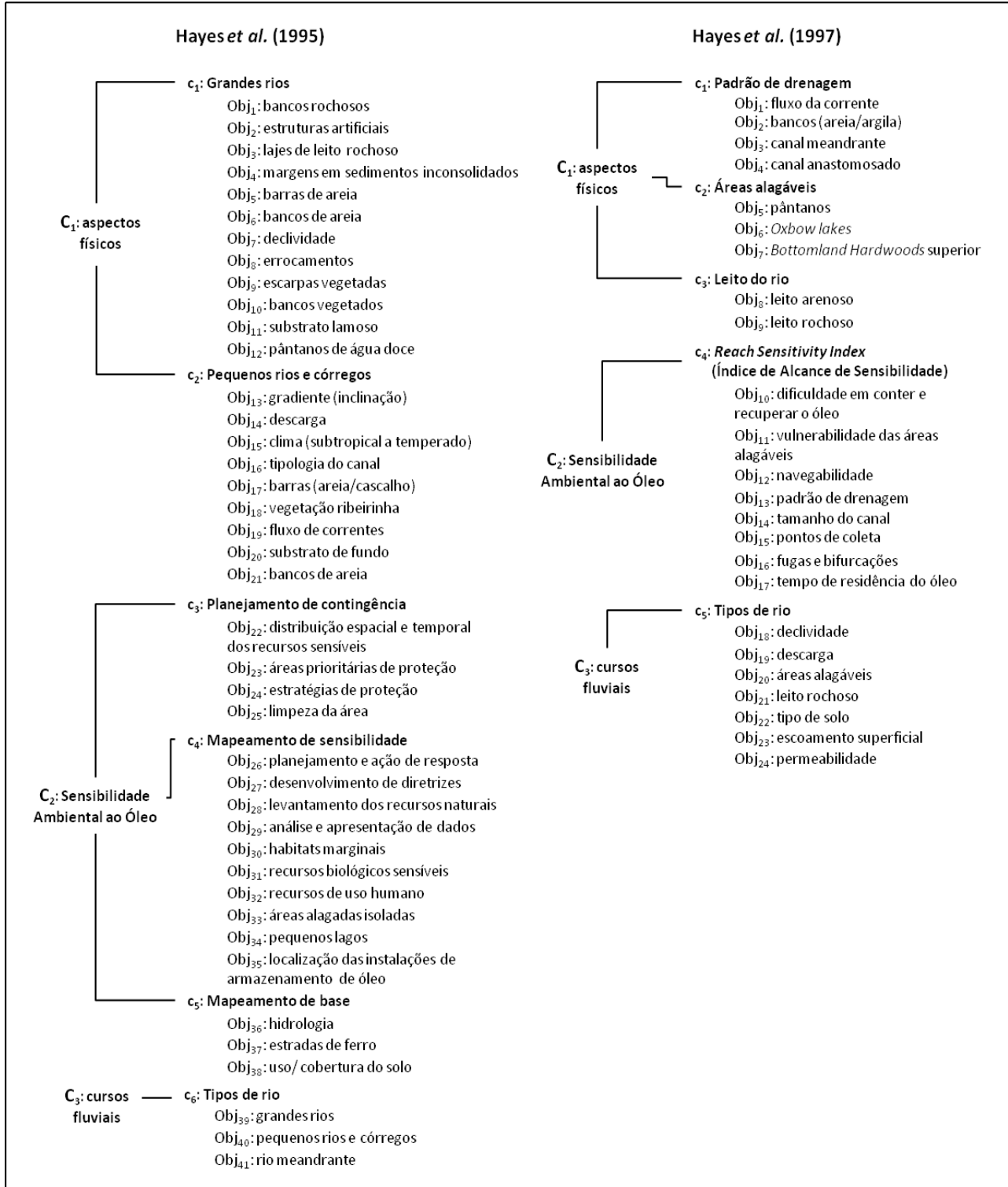


Figura 3. Esquema de representação dos resultados de Hayes et al. (1995, 1997) obtidos pela aplicação da ferramenta MORPH.

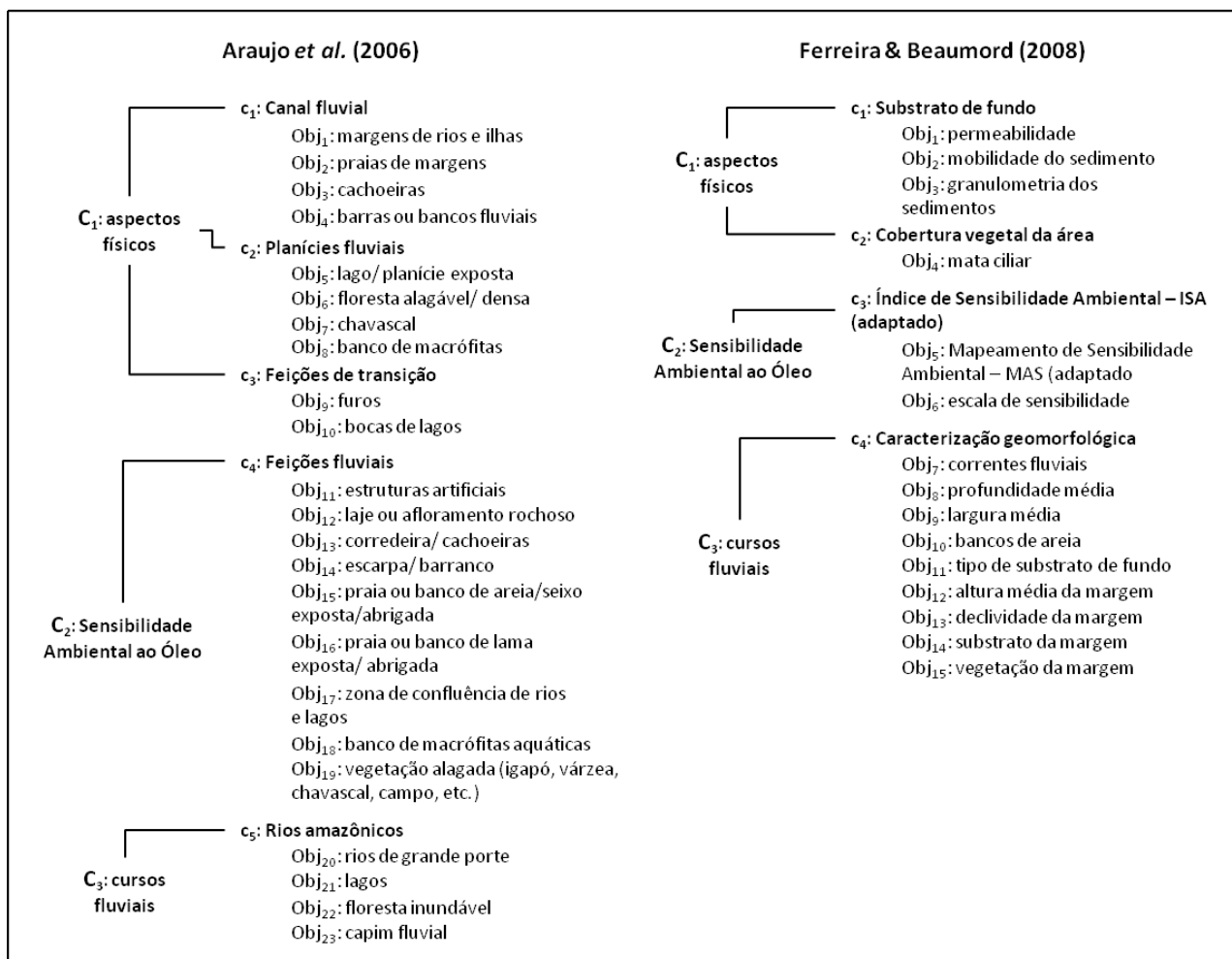


Figura 4. Esquema de representação dos resultados de Araujo *et al.* (2006) e Ferreira & Beaumord (2008) obtidos pela aplicação da ferramenta MORPH.

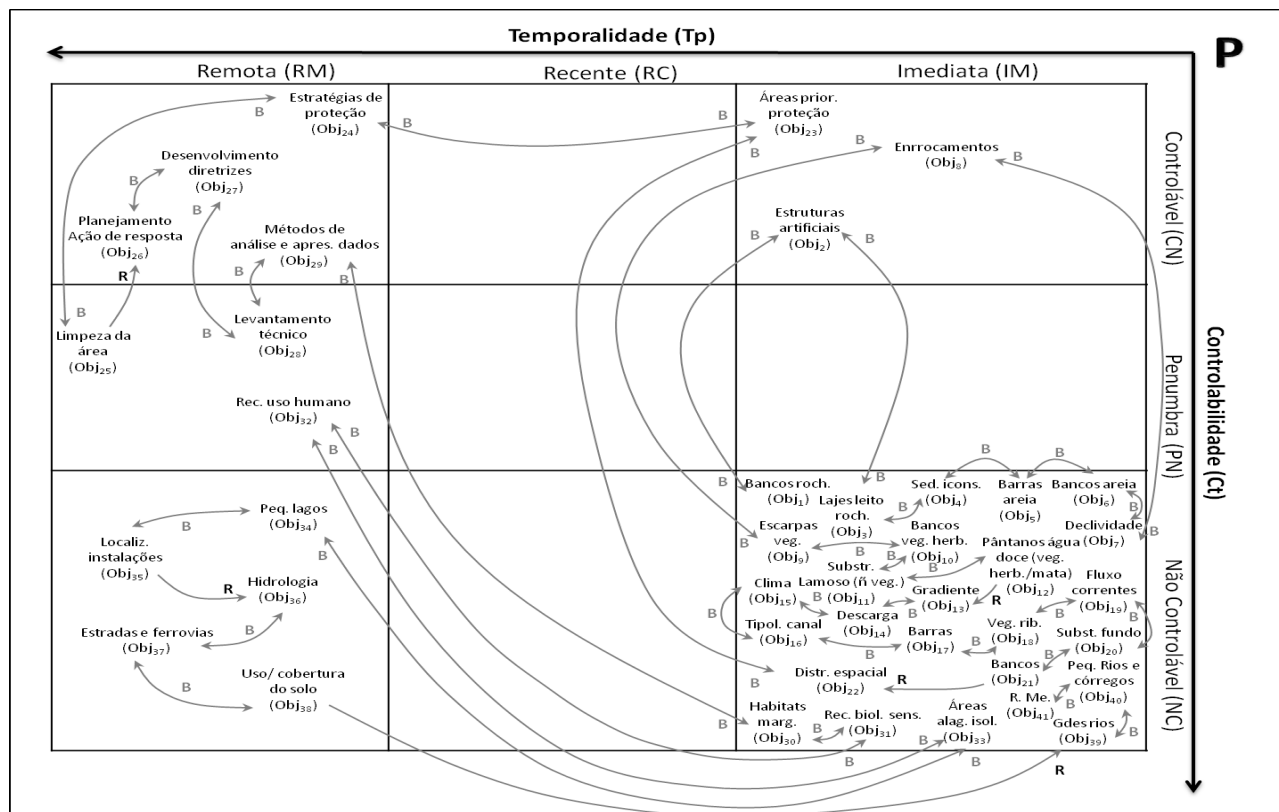


Figura 5. Representação do conhecimento do artigo de Hayes *et al.* (1995), por meio da *frame* MORPH.

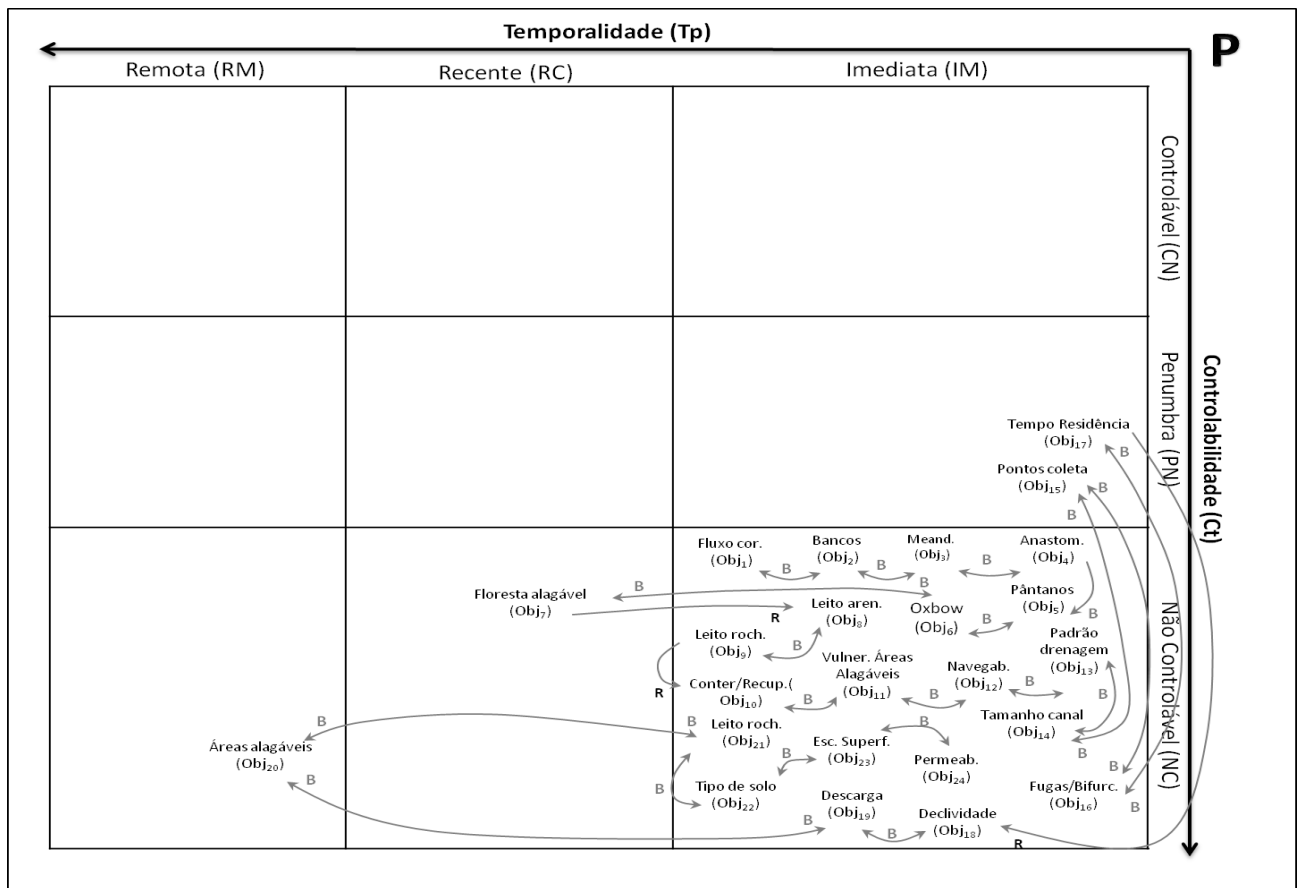


Figura 6. Representação do conhecimento do artigo de Hayes *et al.* (1997), por meio do *frame* MORPH.

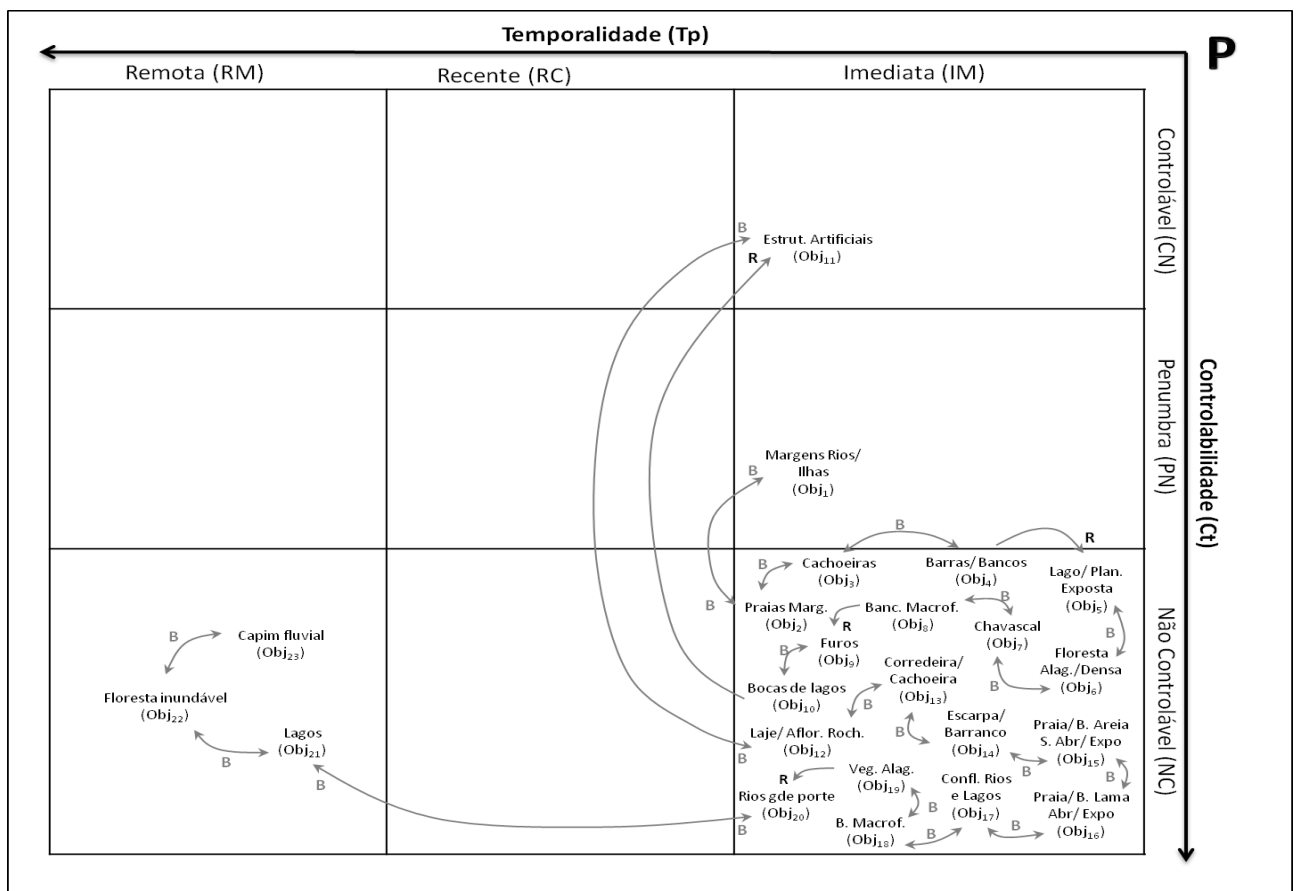


Figura 7. Representação do conhecimento do artigo de Araujo *et al.* (2006), por meio do *frame* MORPH.

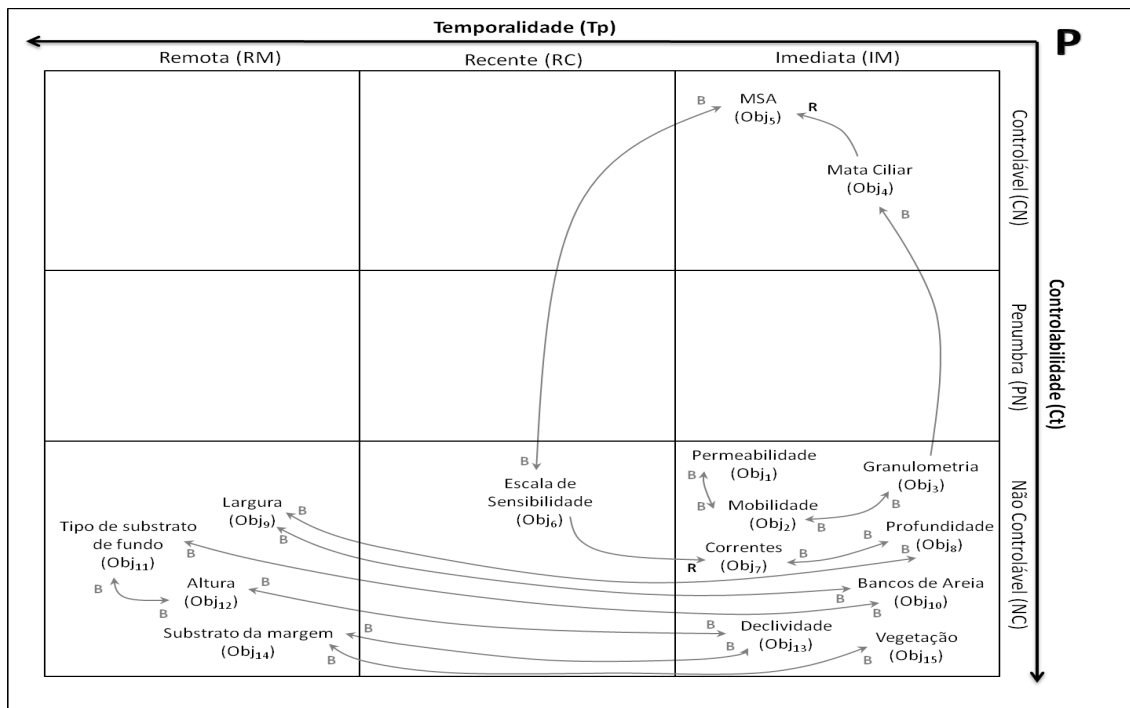


Figura 8. Representação do conhecimento do artigo de Ferreira & Beaumord (2008), por meio do *frame* MORPH.

Quadro 5. Índice de Sensibilidade Fluvial (ISF) ao óleo proposto.

ISF	Ambiente
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, piers, 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 matacões 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, piers, 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 matacões 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

5 Discussão dos resultados

5.1 Parâmetros físicos

5.1.1 Tipo e natureza do substrato (margem e fundo)

O tipo de substrato e a permeabilidade estão diretamente relacionados e também são parâmetros considerados importantes, pois o substrato determina a permeabilidade que está associada à granulometria e à mobilidade do sedimento e, consequentemente, à permanência do óleo no ambiente. O conhecimento sobre o tipo de substrato também auxilia na determinação do tipo de equipamento que poderá ser utilizado em ações de limpeza (Brasil, 2004).

A diferenciação quanto ao diâmetro dos grãos (fino, médio e grosso) influencia na percolação do óleo. Sedimentos mais finos como as argilas são menos permeáveis, o que dificulta a percolação do óleo, e são comumente saturados por água (Wieczorek, 2005).

O tipo de substrato pode ser classificado em consolidado e não consolidado. Os substratos consolidados podem ser divididos em semipermeáveis, que permite percolação do óleo e impermeáveis que não permitem qualquer percolação e são comuns aos leitos e paredões rochosos marginais. A permeabilidade destes meios se dá pelas fraturas. Os substratos inconsolidados se relacionam à granulometria e à mobilidade dos sedimentos. Em relação à mobilidade, o movimento dos sedimentos pode incorporar o óleo aos estratos inferiores, dependendo da ação hidrodinâmica.

Cabe ressaltar a importância em se conhecer a natureza dos substratos para que seja possível identificar sua porosidade e permeabilidade e associá-las ao comportamento do óleo. A porosidade pode ser classificada em três tipos: granular ou de interstício, representadas por solos e sedimentos; porosidade de fraturas, fissuras ou fendas comum a rochas duras ou compactas como os granitos, basaltos, gnaisses, outras rochas ígneas ou metamórficas; e porosidade cárstica, associada a rochas solúveis (Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

O pior caso de um acidente envolvendo derramamento de óleo seria em maciços com porosidade cárstica, pois estes possuem uma rede complexa de condutos, canais, tubos e cavernas que dificultam ou até mesmo inviabilizam as ações de limpeza.

O tipo de substrato também pode ser associa-

do à vegetação. Substratos vegetados influenciam diretamente as ações de limpeza, dificultando a remoção do óleo. Estes podem estar associados aos bancos de macrófitas, vegetação arbustiva, capoeiras, campos, floresta de várzea, entre outros.

As estruturas artificiais também podem ser consideradas como um tipo de substrato. Essas são construções antrópicas comumente presentes nas margens dos cursos fluviais como rampas, muros e enrocamentos. Estruturas constituídas por blocos não cimentados apresentam grande permeabilidade à percolação do óleo entre os blocos, como os enrocamentos. Quando estes são cimentados (concreto ou aço) não há permeabilidade à percolação do óleo, como em muros e rampas.

5.1.2 Hidrodinamismo

O hidrodinamismo está diretamente associado às correntes fluviais e deve ser considerado como uma característica importante, pois contribui diretamente com a dispersão e trajetória do óleo. Em ambientes expostos a fortes correntes, durante todas as estações, o óleo é normalmente removido a curto prazo, em questão de dias a semanas. Ambientes expostos a correntes moderadas, sujeitos a inundações sazonais, o óleo só poderá ser removido em eventos de alta energia (eventos de inundação) a médio prazo, em um período de dias a meses. Ambientes protegidos da ação das correntes e inundações, o óleo pode permanecer por longo tempo, muitas vezes em um período de anos (Wieczorek, 2005).

O padrão da drenagem também é um aspecto relacionado ao hidrodinamismo. Nos rios que apresentam padrão retilíneo, ambas as margens estão expostas à ação das correntes; em rios de padrão meandrante as margens que recebem maior energia das correntes são as que apresentam feições erosivas, as margens abrigadas da ação das correntes são as que apresentam características deposicionais e estão mais suscetíveis a uma contaminação por óleo.

5.1.3 Declividade das feições marginais

Outro parâmetro físico apresentado e considerado de grande importância é a declividade das feições marginais. Este parâmetro determina a extensão da área sujeita à contaminação por óleo, de acordo com o grau de inclinação, que pode ser: alto, quando o mesmo apresenta 30° ou mais; moderado, quando a inclinação varia de 30° a 5°; e pequeno ou plano, quando a inclinação apresentar valores inferiores a 5° (Brasil, 2004).

Ambientes deposicionais como planícies aluviais apresentam baixa inclinação, o que permite a permanência do óleo por tempo prolongado. Devido à relativa estabilidade física desses ambientes, os mesmos comportam altos índices de concentração de matéria orgânica, permitindo o estabelecimento de cobertura vegetal de pequeno e médio porte, o que dificulta as ações de limpeza (Wieczorek, 2005).

5.1.4 Fácies dos sistemas deposicionais fluviais

O padrão de drenagem, de acordo com Suguio & Bigarella (1990), é influenciado por diversos fatores como: condições climáticas, natureza do substrato, cobertura vegetal e gradiente. Além desses, a relação entre descarga e declividade também pode definir o padrão de um canal. Os principais padrões de drenagem definidos com base na geometria do canal são: meandrante, anastomosado e retilíneo.

Para o estabelecimento da sensibilidade ao óleo é importante considerar as fácies presentes nesses sistemas deposicionais como: barras de meandro, diques naturais, depósito de várzea, canais abandonados, barra de corredeira, canais abandonados e rompimento de diques.

5.1.5 Vegetação marginal

A vegetação marginal pode ter grande influência em pequenos cursos d'água, como aponta um estudo realizado por Zimmerman *et al.* (1967 *apud* Christofoletti, 1981) para as bacias hidrográficas da parte setentrional de Vermont (E.U.A.). Esse estudo observou que pequenos rios têm sua forma e tamanho basicamente controlados pela vegetação marginal, onde a mesma invade o canal eliminando o efeito do aumento de débito em direção a jusante. Porém, em cursos fluviais maiores, somente as margens são afetadas pela vegetação.

A alteração da vegetação pode ocasionar modificações no balanço hídrico. Suguio & Bigarella (1990) afirmam que a vegetação, em alguns casos, constitui um importante agente minimizador das diferenças de vazão líquida entre os períodos de cheia e vazante. Devido a isso, a supressão da vegetação poderá causar grandes alterações nos regimes fluviais, que poderão caracterizar-se por vazantes acentuadas e cheias catastróficas, podendo surgir padrões típicos de canais anastomosados durante as estiagens.

A vegetação marginal também pode dificultar as ações de limpeza/ remoção do óleo.

5.2 Ambientes considerados pelo Índice de Sensibilidade Fluvial (ISF)

5.2.1 Margens rochosas

Para as margens rochosas foram classificados 9 tipos de ambientes que variam em grau de sensibilidade (1 menor sensibilidade) de acordo com a permeabilidade, a exposição ao hidrodinamismo e a declividade.

As margens rochosas definidas com índice de sensibilidade 1, se encontram em frequente exposição à ação das correntes fluviais, o que garante uma limpeza natural mais eficiente. Nesses casos, a limpeza se processa em algumas semanas, favorecendo a recuperação natural do ambiente, sem a interferência de outros métodos de limpeza, que geralmente podem causar algum dano. Como são classificadas como rochas maciças, portanto impermeáveis, são incapazes de acumular óleo de forma significativa (Wieczorek, 2005).

Os substratos rochosos maciços de baixa declividade e definidos com índice 2, podem apresentar algum acúmulo de água, formando piscinas propícias ao acúmulo de óleo. Nesses substratos se espera a adesão do óleo apenas na superfície, principalmente se o produto envolvido apresentar maior densidade e viscosidade. A limpeza natural desse tipo de ambiente também é favorecida devido a sua exposição às correntes fluviais (Wieczorek, 2005).

As margens rochosas definidas com índice de sensibilidade 4, também se encontram em frequente exposição à ação das correntes fluviais, o que garante uma limpeza natural mais eficiente. Porém, apresentam porosidade que podem ser de fraturas, fissuras ou fendas, o que permite a penetração do óleo nesse substrato.

As margens rochosas definidas com índice de sensibilidade 6 se apresentam mais sensíveis devido à baixa declividade associada à permeabilidade do substrato, tanto pela presença de fraturas, fissuras ou fendas, como blocos de rochas. Nesses existe a tendência do óleo penetrar entre os espaços, o que dificulta as ações de limpeza/ remoção do produto, mas como são substratos expostos à ação hidrodinâmica, a limpeza natural tende a ser mais efetiva (Wieczorek, 2005).

As margens rochosas definidas com índice de sensibilidade 7 são substratos impermeáveis, incapazes de acumular óleo de forma significativa, podendo, porém, apresentar fina cobertura de sedimentos mobilizáveis. Neste não há penetração de óleo, mas o mesmo apresenta uma sensibili-

de biológica considerável, devido à presença de complexa comunidade. O substrato duro favorece a fixação de diversas espécies de macroalgas, muitas das quais formam densas coberturas na rocha (Wieczorek, 2005). Nestas condições, a força da ação hidrodinâmica é mínima, por isso existe grande dificuldade do óleo ser dispersado e eliminado naturalmente. Nestes ambientes, o comportamento do óleo é semelhante ao constatado por Lopes *et al.* (2006) para o litoral, em que o contaminante pode permanecer nas rochas por muitos anos, impedindo ou dificultando o processo de recuperação da comunidade atingida.

As margens rochosas com índice de sensibilidade 8 são ambientes com declividade e permeabilidade variável e, por estarem abrigadas à exposição das correntes, apresentam grande dificuldade de dispersão natural do óleo (Wieczorek, 2005). Quando há um alto grau de fraturamento ou presença de matacões, existe a possibilidade da formação de depósitos que propiciam a percolação do óleo mais profundamente, causando contaminação do ambiente por um longo tempo.

Em substratos com índice de sensibilidade 9, caracterizados pela porosidade cárstica com feições de dissolução, são os substratos rochosos mais difíceis de serem limpos naturalmente e até mesmo por ações de limpeza planejadas. Nesses, não há um padrão de drenagem organizado e a presença de dolinas e de complexas redes de tubos, dutos, cavernas, galerias, rios e lagos subterrâneos podem dispersar o óleo por todas as partes, sem que haja qualquer tipo de controle sobre a trajetória do contaminante.

5.2.2 Estruturas artificiais

As estruturas artificiais foram classificadas em 4 tipos. Tanto suas características, quanto o comportamento previsível do óleo são semelhantes aos substratos rochosos. Dessa maneira, a sensibilidade foi atribuída considerando os mesmos parâmetros físicos das margens rochosas (permeabilidade, a exposição ao hidrodinamismo e a declividade).

As estruturas com índice de sensibilidade 1 estão frequentemente expostas à ação das correntes fluviais e devido à impermeabilidade do material são incapazes de acumular óleo de forma significativa. Em substratos íngremes, o óleo é levado para fora pelo movimento das águas contra as superfícies duras. Em substratos planos, apenas a adesão do óleo à superfície é esperada, principalmente se o produto envolvido apresentar maior densidade e viscosidade. Os óleos leves deposita-

dos são facilmente removidos pela ação das águas. O óleo adere facilmente às superfícies secas e rugosas, mas com maior dificuldade em substratos lisos e/ou molhados (Wieczorek, 2005).

As estruturas com índice de sensibilidade 6, mesmo quando expostas à ação das correntes, são mais sensíveis, pois em substratos formados por blocos existe a tendência do produto penetrar entre os espaços, dificultando as ações de limpeza/remoção do óleo.

As estruturas com índice de sensibilidade 7 apresentam maior sensibilidade devido estarem abrigados da ação das correntes. Estruturas como pontes e píeres, por exemplo, podem reter muito sedimento que, muitas vezes, é colonizado por vegetação, dificultando a limpeza do ambiente.

As estruturas com índice de sensibilidade 8 são substratos mais sensíveis, devido à heterogeneidade do material (blocos de rochas ou de cimento), que permite maior percolação e retenção do óleo. Devido sobretudo à baixa ação do hidrodinamismo, são ambientes difíceis de serem limpos naturalmente possibilitando a permanência do óleo por longo tempo.

5.2.3 Praias

As praias foram classificadas em 8 tipos. A sensibilidade desses ambientes foi atribuída de acordo com as características do sedimento (granulometria) e sua dinâmica erosional/deposicional, que depende da ação das correntes.

Praias com declividade suave e perfil relativamente plano são comumente associadas a outros ambientes contíguos como planícies de inundação. As praias fluviais possuem variação de sedimentos associados à morfologia do rio, sendo que em setores mais abrigados à ação das correntes tendem a possuir granulometria de areia mais fina do que aqueles setores com maior hidrodinamismo (Wieczorek, 2005).

Em praias de areia fina a média a penetração do óleo no sedimento é baixa, podendo variar em torno de 10 cm de profundidade, onde o óleo permanece nas camadas superficiais. As pavimentações asfálticas poderão ser formadas caso haja uma pesada acumulação do contaminante, onde o óleo pode recobrir grandes extensões de areia, alterando a natureza e a estabilidade do substrato (Wieczorek, 2005). Dependendo do hidrodinamismo da praia, pode haver acúmulo de sedimentos sobre o óleo, podendo até impedir sua visualização, como acontece em praias de caráter deposicional, em que os sedimentos vão se acumulando uns sobre os outros devido à ação das correntes.

Em consequência disso, as praias deposicionais são consideradas mais sensíveis em relação às erosionais.

Em praias de areia grossa a penetração do óleo pode superar 25 cm de profundidade no sedimento, elevando o tempo de permanência do óleo (Wieczorek, 2005). O grau de penetração também depende das características do contaminante. O sedimento frouxo dessas praias se assemelha às praias oceânicas e, por isso, de acordo com Lopes *et al.* (2006) a limpeza e retirada do óleo são dificultadas operacionalmente.

Praias com mobilidade maior dos sedimentos como as praias de cascalho, se apresentam com maior sensibilidade devido à penetração do óleo, que pode atingir até 50 cm, dificultando as ações de limpeza. Essas possuem maior granulometria e consequentemente, maior espaço intersticial, por isso não são ambientes favoráveis à deposição de particulados finos e matéria orgânica. As operações de limpeza nesses ambientes podem causar erosão e a permanência do óleo pode ser elevada se houver soterramento ou retenção do mesmo em irregularidades do substrato (Wieczorek, 2005).

5.2.4 Fácies dos sistemas deposicionais fluviais

Depósito de barras de meandro. São depósitos de acreção lateral que dependem de três fatores internos como o tamanho do grão da carga suspensa e total, a velocidade do fluxo sobre os bancos e a taxa de migração dos canais. As barras são constituídas de sedimentos arenosos, siltico-argilosos ou conglomeráticos, pobremente selecionados ou com granulometria mais ou menos selecionada (Suguio & Bigarella, 1990).

De acordo com Suguio & Bigarella (1990, p. 95) “o processo de deposição lateral implica na acumulação de sucessivas camadas inclinadas de sedimentos na parte interna [margem convexa do canal], suavemente inclinada da curva de meandro, em harmonia com a erosão dos bancos externos mais íngremes [margem côncava do canal]”. Esse processo é comum a canais relativamente retos com talvegues sinuosos e a canais meandantes (Suguio & Bigarella, 1990).

Como esses depósitos estão constantemente recebendo sedimentos, em caso de um derramamento de óleo o mesmo pode ser soterrado, dificultando as ações de limpeza. A natureza dos depósitos é variada, onde os sedimentos mais finos (siltico e siltico-argilosos) são depositados no topo da seção. Existem rios como o Amite (Louisiana) e Colorado (Texas), onde a sinuosidade é baixa e o gradiente é acentuado, promovendo o transporte

de sedimentos mais grosseiros como areias, seixos e blocos (Suguio & Bigarella, 1990). Neste caso o óleo poderá ter maior percolação entre os sedimentos grosseiros, dificultando as operações de limpeza. O tempo de permanência do óleo pode variar de acordo com a intensidade das correntes fluviais.

Diques naturais. De acordo com Suguio & Bigarella (1990), os diques são acreções verticais dos depósitos de transbordamento. Esses ocorrem por processos sedimentares externos ao canal e são constituídos por sedimentos provenientes da carga suspensa mais grosseira. Os diques são mais desenvolvidos nas margens côncavas do canal em rios sinuosos a meandantes, porém em rios mais retilíneos tendem a ser bem desenvolvidos em ambas as margens.

O processo de deposição dos diques ocorre com o transbordamento da corrente sobre os bancos. Após esse transbordamento a velocidade da corrente diminui, o que dificulta o transporte dos sedimentos mais grosseiros que são depositados próximos aos bancos e os sedimentos mais finos tendem a ser depositados próximos às bacias de inundação (Suguio & Bigarella, 1990). Nesse processo, o óleo derramado mais pesado pode ser depositado juntamente com os sedimentos grosseiros, dificultando as ações de limpeza, pois o produto pode penetrar mais profundamente no sedimento. O tempo de permanência do óleo tende a ser elevado, mas pode variar de acordo com as características de transbordamento da corrente sobre o banco.

Os diques podem se conectar com terraços e/ou planícies de inundação. O terraço é uma feição erosiva dos rios, esses são formados quando o rio escava os sedimentos da planície de inundação, formando áreas planas ou em bancadas limitadas por escarpas (Suguio & Bigarella, 1990).

Meandros abandonados e lagos de meandros. O abandono dos meandros se deve às mudanças graduais nos cursos dos rios. Esse pode ser ocasionado por dois processos: atalhos de corredeira e atalhos em colo. O primeiro é resultado do encurtamento da curva do meandro pelo corte de um novo canal que surge por entre as barras do meandro, aproveitando a planície de inundação pantanosa. Com isso o arco do meandro abandonado é isolado do novo curso por sedimentos da carga de fundo, esse é preenchido progressivamente pela carga de sedimentos em suspensão conduzidos pelas enchentes (Suguio & Bigarella, 1990). Nessa situação pode haver o confinamento e o soterramento do óleo, tornando a limpeza difícil devido à tendência do produto ser transferido

para as camadas mais profundas dos sedimentos.

O atalho em colo é resultado do corte da parte estreita entre duas curvas de meandro que estão próximas. Nesses os sedimentos da carga de fundo preenchem as extremidades do canal abandonado dando origem a um lago, o preenchimento é progressivamente concretizado pelos sedimentos em suspensão durante as enchentes (Suguio & Bigarella, 1990). Nessa situação pode haver o confinamento do óleo no lago de meandro em épocas de cheias. Esse é um ambiente rico em diversidade de espécies, como consequência da relativa estabilidade física e abundância de alimento, o que torna os lagos de meandro ambientes com alto índice de sensibilidade. Os efeitos de uma contaminação por óleo poderiam perdurar por longo tempo.

Planícies de inundação associada à vegetação. A planície de inundação, também conhecida como várzea, é a principal forma determinada pela erosão lateral dos rios. Pode ser definida como uma área relativamente plana situada entre as paredes de um vale, coberta por água em períodos de cheia. À planície de inundação está associada as bacias de inundação, que consistem em depressões constantemente alagadas. O processo predominante na planície, quando há o transbordamento do canal é o de suspensão que recobre a planície com camadas uniformes de silte e argila (Suguio & Bigarella, 1990; Riccomini *et al.*, 2001).

As planícies são áreas que apresentam diversos componentes biológicos que incluem vegetação, comunidades animal e microbiana. A composição vegetal geralmente apresenta espécies adaptadas a solos frequentemente alagados, como gramíneas, herbáceas e macrófitas (Wieczorek, 2005).

Devido ao baixo hidrodinamismo são áreas muito vulneráveis que, em caso de uma contaminação por óleo, a ação natural de limpeza não será realizada de forma eficiente. Com a permanência do produto por maior período de tempo, os efeitos ao ecossistema podem intensificar-se e os processos de recuperação ocorrem apenas a longo prazo. O próprio sedimento, geralmente lamoso, retarda a biodegradação do óleo, devido à sua condição relativamente anóxica (Wieczorek, 2005).

Nesses ambientes o óleo adere facilmente à vegetação, o que dificulta as ações de limpeza. A faixa de cobertura tem grande variação, dependendo muitas vezes do nível de água na altura da contaminação. As grandes camadas de óleo poderão persistir ao longo de múltiplos ciclos de cheias e secas. O contaminante pode penetrar apenas alguns centímetros no topo do sedimento ou em certas circunstâncias pode penetrar nas tocas dos

animais e nas fendas existentes até 1m de profundidade (Wieczorek, 2005).

As planícies de inundação são ambientes muito sensíveis à contaminação por óleo e devem ter prioridade em situações de contaminação.

5.2.5 *Soleiras com rápidos e corredeiras e soleiras com cachoeiras*

As soleiras e corredeiras são ambientes em constante exposição à ação do hidrodinamismo, sendo incapazes de acumular óleo de forma significativa, mas o mesmo pode se misturar em toda a coluna d'água, por causa da turbulência ocasionada pela rugosidade do leito. Devido à natureza do substrato, pode haver ou não a penetração do óleo, de acordo com o grau de fraturamento. Nesses ambientes, por causa da intensidade do hidrodinamismo, mesmo sendo uma rocha que apresenta porosidade de fraturas a limpeza se processa de forma natural.

Em ambientes onde as cachoeiras se apresentam em forma de pavimentos rochosos com média declividade, geralmente se formam plataformas de largura variável e suave inclinação, expostas à forte ação hidrodinâmica. Nesses, as superfícies das rochas podem ser irregulares, com numerosas poças e organismos associados como algas. As plataformas podem ser cobertas por uma fina cobertura de areia e cascalho e, muitas vezes, podem coexistir com praias de cascalho. Nessas condições o óleo não adere nas superfícies úmidas ou molhadas das rochas, mas pode penetrar nas fendas, poças e tocas ou nos sedimentos, sendo transportado através da plataforma e se acumular ao longo da linha de cheia. A persistência do contaminante é normalmente de curto prazo. Se existir praia, o óleo pode penetrar e persistir nos sedimentos. Os óleos leves têm tendência a ser removidos rapidamente pela ação das águas e evaporação. A persistência do óleo pode estender-se por um período de dias a meses, dependendo da especificidade do local, níveis de energia das águas e do tipo do produto (Wieczorek, 2005).

5.2.6 *Margens erosivas*

As margens erosivas geralmente apresentam sedimentos inconsolidados e estão sobre ação constante das correntes fluviais. Essas correntes são comuns a muitos tipos de drenagem, principalmente a margem côncava de rios meândricos.

A taxa de erosão é determinada por sua composição, onde os sedimentos incoerentes tendem a se desintegrar e são carregados pelas corren-

tes; sedimentos coerentes ou mais compactos se desprendem em grandes fragmentos e em canais meandantes são depositados na margem convexa (Suguio & Bigarella, 1990), originando os depósitos de barras de meandro.

Essas feições apresentam substratos semi-permeáveis ao óleo, com baixa penetração, onde o mesmo pode ser acumulado em pequena quantidade. A permanência do contaminante se dá a médio prazo e não há necessidade de ações limpeza, pois a mesma se processa de forma natural (Wieczorek, 2005).

5.2.7 Ilhas fluviais

A formação das ilhas fluviais está associada diretamente à vazão e competência do rio (tamanho máximo do material que pode ser movido) vinculada à acumulação de sedimentos em áreas de baixa ação hidrodinâmica e pequena declividade.

O material de composição é basicamente areia, por isso o comportamento do óleo se assemelha ao das praias. Onde os sedimentos são constituídos de areia fina a média, o óleo tem maior dificuldade de percolação podendo atingir 10 cm de profundidade. Em sedimentos mais grosseiros como areia grossa e seixos, a percolação do óleo será maior, podendo atingir até 50 cm de profundidade.

5.2.8 Confluência com coalescência de planícies fluviais

Confluências com coalescência de planícies fluviais são áreas de bifurcação onde o rio principal recebe outros canais ou onde há convergência das águas para áreas de baixa ação hidrodinâmica como planícies fluviais, lagoas ou outras áreas.

Essas áreas são importantes nas épocas de cheia, pois podem proporcionar o acesso do óleo a locais mais abrigados, os quais apresentam ecossistemas importantes no processo reprodutivo e alimentar de várias espécies de peixes. Nessas confluências, o contaminante pode atingir as planícies ou lagoas impactando grandes extensões de áreas sensíveis, e podendo permanecer por vários meses (Wieczorek, 2005).

5.2.9 Banco de substrato lamoso

Esses ambientes têm declive muito suave (eventualmente menos de um grau) e ficam expostos durante as secas, ocorrendo em áreas normalmente abrigadas da ação direta das correntes sen-

do, portanto, favoráveis à deposição de sedimentos finos (Lopes et al., 2006).

Ambientes deposicionais como bancos de substrato lamoso são ricos biologicamente, como consequência da relativa estabilidade física e abundância de alimento (altos índices de matéria orgânica) (Wieczorek, 2005).

Esses ambientes são geralmente saturados por água, com pouco espaço intersticial, o que limita a penetração e adesão do óleo. Porém, devido ao baixo hidrodinamismo, o tempo de permanência do óleo pode ser muito longo. Como resultado da ação da oscilação (cheia/seca) do rio, o óleo tende a acumular na parte superior do ambiente.

Nesses ambientes, a limpeza se torna difícil por causa da tendência do óleo em se transferir às camadas mais profundas, devido ao pisoteio ou outras ações. Esse substrato se apresenta inconsistente e de baixa trafegabilidade. Porém, devido às suas condições geomorfológicas, hidrodinâmicas e biológicas, são ambientes de grande sensibilidade (Wieczorek, 2005).

5.2.10 Vegetação ciliar

A presença da vegetação ciliar é um fator muito importante a ser considerado em um acidente envolvendo derramamento de óleo, pois dependendo do tipo e porte da vegetação pode haver retenção do contaminante de forma considerável. Ações de limpeza em margens densamente vegetadas podem ser muito difíceis, o que pode aumentar o tempo de permanência do óleo. Em áreas onde a ação hidrodinâmica é elevada, a limpeza natural pode se processar de forma mais rápida.

6 Conclusões

O Índice de Sensibilidade Fluvial (ISF) proposto neste trabalho buscou suprir a necessidade do meio dulciaquícola ao conciliar uma variedade de ambientes presentes nos sistemas fluviais indicados pelos sistemas de classificação de sensibilidade apresentados pelo NOAA, Petrobras S.A. e outros, além de elencar os parâmetros físicos fundamentais ao estabelecimento da sensibilidade.

Para a seleção dos parâmetros físicos foram investigadas as características físicas comumente associadas a cursos fluviais, onde as seguintes variáveis foram selecionadas: tipo e natureza do substrato de fundo e das margens; exposição da feição ao hidrodinamismo (ação das correntes); declividade das feições marginais; a vegetação marginal e o porte da vegetação associada à planície de inundação. A vegetação foi elencada, pois in-

fluencia diretamente a dispersão e suas condições de limpeza e/ou remoção do óleo.

O índice proposto tem por finalidade representar a sensibilidade dos ambientes fluviais nas Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) com o intuito de auxiliar os planos de contingência, os sistemas de emergência, a análise de risco, a avaliação de impactos ambientais e os sistemas de apoio à decisão para as ações de resposta em caso de acidentes envolvendo derramamento de óleo.

Para a classificação de sensibilidade proposta adotou-se os mesmos padrões estabelecidos pelo Grupo de Pesquisa de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Petróleo, vinculado ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Geologia e Ciências Ambientais aplicadas ao Setor de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (PRH-05), da UNESP, campus de Rio Claro, que desenvolveu trabalhos para o litoral de São Paulo, fundamentados nos aspectos físicos por meio da compreensão da geomorfologia e dos processos dinâmicos que integram os cursos fluviais. Entende-se que, tais aspectos tem menor variabilidade temporal, diferentemente dos aspectos biológicos e socioeconômicos que podem sofrer alterações a curto prazo. Além disso, o meio físico determina o tipo de biota associada e os recursos de uso humano, estabelecendo complexas relações. Dessa forma, o mapeamento com base nos aspectos físicos não necessita ser atualizado constantemente.

Este trabalho buscou contribuir com o estabelecimento de ambientes não considerados pelos sistemas de classificação apresentados, tais como a natureza dos afloramentos rochosos marginais ao contemplar a classificação genética das rochas (rochas ígneas, metamórficas e sedimentares) associada à porosidade (fraturas, fissuras ou fendas); e a especificação das fácies presentes nos sistemas de canais meandantes (diques naturais, barras de meandros, meandros abandonados, lagos de meandros e planícies de inundação) comuns às regiões de clima úmido.

O ISF, por ser uma proposta inicial ainda não testada, deve ser aplicado aos mais diversos ambientes fluviais nacionais para avaliar sua eficácia. O mesmo poderá ser refinado para atender a outros ambientes não contemplados por este estudo. Por se tratar de uma associação entre os mais diversos ambientes presentes nos cursos fluviais norte americanos, em rios amazônicos de grande porte e nas fácies de sistemas deposicionais meandantes, sua aplicação também pode ser prevista para os sistemas fluviais com variação climática entre equatorial, tropical úmido, subtropical úmi-

do e temperado. Para ambientes com climas extremos (tropical seco, desértico quente e climas frios) o índice deverá ser adaptado.

As principais dificuldades enfrentadas ao estabelecimento do ISF estão relacionadas à incipiência da literatura específica sobre o tema, tanto para artigos que contemplem propostas de sistemas de classificação, quanto para o comportamento previsível do óleo em ambientes fluviais. Com base nesse último, houve a necessidade de utilização de literatura referente aos ambientes costeiros no caso dos afloramentos rochosos e granulometria das praias, pois estes possuem características semelhantes. Diante disso, a presente pesquisa buscou contribuir com estudos futuros, ao apresentar uma investigação sobre as especificidades dos aspectos físicos (parâmetros e ambientes) que compõem os cursos fluviais, bem como o comportamento previsível do óleo.

A proposta apresentada também visa contribuir como subsídio às Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo e aos planos de contingência para a determinação de ações de resposta mais precisas que auxiliem a recuperação dos ambientes presentes nos cursos fluviais.

O MORPH se apresentou como uma ferramenta eficiente que auxiliou na identificação dos aspectos físicos (parâmetros e ambientes fluviais) fundamentais ao estabelecimento da sensibilidade ambiental ao óleo, por meio da investigação detalhada das publicações científicas analisadas pela presente pesquisa.

Agradecimentos - Este trabalho constitui parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora, desenvolvida junto ao Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista. Os autores agradecem à CAPES pela contribuição fornecida em forma de bolsa de estudo; ao Grupo de Pesquisa em Sensibilidade Ambiental a Derrames de Petróleo, da UNESP; e, ao Grupo de Estudos de Engenharia da Informação e Conhecimento, da UNICAMP.

Referências

- Araujo, S.I., Silva, G.H. & Muehe, D. 2006. *Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais*. Rio de Janeiro, Petróbras, 166 p.
- Azevedo A.A. & Albuquerque Filho, J.L. 1998. Águas Subterrâneas. In: Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A. (Ed.). *Geologia de engenharia*. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p.111-130.
- Birkland, T.A. & Laurence, R.G. 2002. The social and political meaning of the Exxon Valdez oil spill. *Spill*

- Science & Technology Bulletin*, 7(1/2): 17-22.
- Christofolletti, A. 1981. *Geomorfologia fluvial - o canal fluvial*. São Paulo, Edgard Blücher. 313 p.
- Costa, D.M. 2014. *Estabelecimento de um índice de sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais, com o suporte da ferramenta MORPH*. Rio Claro, 193p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Costa, F.M. 2012. *Aquisição de conhecimento de agentes textuais baseada em MORPH*. Limeira, 131p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas.
- Ferreira, M.F. & Beaumord, A.C. 2008. 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*, 12(2): 61-72.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2013. *Relatório de Acidentes Ambientais 2013*. 36p. (Relatório). Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 20 ago. 2014.
- Hayes, M. O.; Michel, J. & Dahlin, J. A. 1995. Identifying and mapping sensitive resources for inland area planing. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 1995, California. *Proceedings...* California, IOSC, v.1, p. 365-371. Disponível em: <<http://iosc-proceedings.org/>>. Acesso em: 10 jun. 2011.
- Hayes, M.O., Michel, J. & Montello, T.M. 1997. The environmental sensitivity index (ESI) for mapping rivers and streams. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 1997, Florida. *Proceedings....* Florida, IOSC, v. 1, p. 343-350. Disponível em: <<http://ioscproceedings.org>>. Acesso em: 20 abr. 2011.
- Lopes, C.F., Milanelli, J.C.C. & Poffo, I.R.F. 2006. *Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza - manual de orientação*. São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 120p. (Manual). Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 10 out. 2013.
- Michel, J., Hayes, M.O. & Dahlin, J.A. 1994. *Sensitivity mapping of inland areas*: technical support to the inland area planning committee working group USEP region 5. Hazmat Report. 69p. (Report). Disponível em: < <http://docs.lib.noaa.gov/>>. Acesso em: 16 mai. 2012.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. 2004. *Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo*. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho. Brasília, 22 p. (Normas técnicas)
- Riccomini, C., Giannini, P.C. & Mancini, F. 2001. Rios e processos aluviais. In: Teixeira, W., Toledo, M.C.M., Fairchild, T.R. & Taioli, F. (Org.). *Decifrando a Terra*. São Paulo, Oficina de Textos, p. 191-201.
- Suguio, K. & Bigarella, J.J. 1990. *Ambientes fluviais*. Florianópolis, UFSC, 181 p.
- Wieczorek, A. 2005. *Estudo da sensibilidade a derrames de óleo do rio Atibaia à jusante do polo petroquímico de Paulínia*. Relatório de Projeto de Pesquisa. Programa de Auxílio à Pesquisa. Fundação Mapfre, 156 p. (inédito).
- Zambon, A.C., Baioco, G.B. & Magrin, D.H. 2012. MORPH - Modelo Orientado à Representação do Pensamento Humano. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE DINÂMICA DE SISTEMAS, 10., 2012, Buenos Aires. *Anais...* Buenos Aires, CLDS, v. 1, p. 1-9.

Manuscrito 537.

Editores: Tania M. Strohaecker e Maria do Carmo Lima e Cunha.