

Copyright 2005, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor (es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

Identificação da Área Alterada pela Presença de Fluidos de Perfuração na Atividade Exploratória Marítima

Fernando Hepp Pulgati¹, Jandyra M. G. Fachel², Lauren Russo³, Maria do Carmo Peralba⁴
Dirce Pozzebon⁵,

¹UFRJ/COPPE/Lab2m, fernando.pulgati@lab2m.coppe.ufrj.br

²UFRGS/NAE fachel@ufrgs.br

³UFRGS/NAE laurenrusso@hotmail.com

⁴UFRGS/IQ mcarmo@iq.ufrgs.br

⁵UFRGS/IQ dircepoz@iq.ufrgs.br

Resumo – Através de modelos estatísticos espaciais foram identificadas áreas associadas às diferentes fases do processo de perfuração exploratória monitorada no Projeto MAPEM. A estratégia permitiu mensurar os efeitos dos fluidos empregados. A discriminação das fases foi feita com base na constituição química dos fluidos. Primeiramente houve a deposição de material particulado no fundo marinho decorrente da fase de perfuração que utilizou somente água no processo. Depois houve a deposição de material oriundo da fase que utilizou fluido aquoso (WBF). A terceira fase é decorrente da utilização de fluido não-aquoso com retorno à plataforma. As estações amostrais foram divididas em três grupos distintos, de acordo com a quantidade observada dos diferentes elementos químicos. Um grupo, caracterizado pela presença de Bário (Ba) e/ou cascalho de perfuração, associado à fase fluido aquoso. O segundo grupo é caracterizado pela presença de frações de hidrocarbonetos lineares juntamente com Bário e/ou cascalho de perfuração. Este grupo tem origem na contribuição das duas fases anteriores de perfuração. Um terceiro grupo identifica as estações da área não alterada. Questões ligadas diretamente à presença de elementos constituintes do fluido não aquoso foram controladas através das demais fases de perfuração permitindo testar hipóteses sobre possível impacto ambiental nas comunidades bentônicas.

Palavras-Chave: Atividade de perfuração exploratória; Fluidos não-aquosos; BACI (Before-After Control-Impact); Brasil.

Abstract – Spatial statistical models were used to identify areas associated to the various phases of the exploratory drilling process, monitored by the MAPEM Project. This strategy has led to the gauging of the effects arising from the used fluids. In the riserless phase, particulate matter was deposited on the seabed, only water being used. Afterwards, matter from the use of water-based fluid (WBF) was deposited. The third phase derives from the use of non-aqueous fluid (NAF), rising back to the platform. The sampling stations were divided in three different groups, accordingly to the observed amount of various chemical elements. One group is characterized by barium and/or drilling gravel, being associated to the aqueous fluid phase. A second group is described by the detection of fractions of linear hydrocarbons, going along with barium and/or gravel, and arises from contributions by the two first drilling phases. A third group identifies the stations in the non-disturbed area. Questions directly linked to the presence of constituents of the non-aqueous fluid were controlled through the other drilling phases; this allowed testing hypothesis on the possible environmental impact on benthonic communities.

Keywords: Exploratory drilling activities; Non-aqueous fluids; BACI (Before-After Control-Impact); Brazil.

1. Introdução

O desenvolvimento da atividade de perfuração exploratória marítima com o objetivo de encontrar reservas de óleo e gás tem sido acompanhado de pesquisas de controle e monitoramento ambiental em face do aumento de exigências e restrições crescentes na área de meio ambiente.

O uso de fluidos, aquosos (WBF) e não aquosos (NAF) durante o processo de perfuração do poço, geram a descarga de “cuttings” no ambiente marinho. O objetivo principal do Projeto de Monitoramento Ambiental de atividade Exploratória Marítima (MAPEM) foi avaliar possível impacto sobre as comunidades bênticas, oriundo do uso de fluido não aquoso (NAF).

As observações das condições ambientais do leito marinho foram realizadas em três ocasiões no mesmo local. A primeira aconteceu antes da atividade de perfuração, e teve como objetivo principal, investigar as características ecológicas do local antes da atividade antrópica. Na segunda ocasião, foram realizadas novas extrações de amostras nas mesmas posições geográficas das anteriores, que teve por objetivo avaliar possíveis mudanças provenientes das diferentes fases da perfuração, discriminadas pelo uso de água, WBF e NAF. A partir dos resultados obtidos nas duas primeiras ocasiões, o Projeto MAPEM avaliou na terceira ocasião, o grau de recuperação do ambiente de fundo marinho submetido a impactos provenientes da atividade de perfuração, particularmente, quanto ao uso dos diferentes fluidos, WBF e NAF.

A estratégia de amostragem do Projeto MAPEM contemplou 54 estações amostrais, repetidas em três ocasiões distintas identificadas como MD1, MD2 e MD3 (Mapem Depth 1, 2 e 3). Esta estratégia foi desenhada para isolar efeitos temporais e espaciais.

Após o segundo cruzeiro (MD2), constatou-se que a deposição de elementos físicos e químicos no sedimento marinho, provenientes da atividade de perfuração, aconteceu em seções limitadas, localizadas dentro do raio de 500 metros. A estratégia consistiu em definir as regiões alteradas pela presença de material antrópico a partir de indicadores dos diferentes fluidos utilizados no processo, preservando o restante da área neste raio como uma segunda fonte de controle espaço-temporal.

2. Desenvolvimento

Em estudos ambientais o conhecimento prévio das condições locais é de grande interesse, pois permite a comparação de possíveis mudanças resultantes da atividade antrópica. A variabilidade espacial e temporal, muitas vezes desconhecidas, precisam ser observadas e controladas.

A estratégia contempla uma região localizada próxima ao poço exploratório de amplitude máxima definida como o limite de alcance dos registros da atividade de perfuração, conhecida como região de Impacto. A região de referencia está localizada a uma distância suficiente para preservar as condições ambientais naturais, independentes da atividade antrópica. Elas estão localizadas em uma região análoga ao “background”, independente da atividade de perfuração.

Utilizando a proposta BACI (Before-After Control-Impact), o Projeto MAPEM, definiu uma região de impacto limitada em 500 metros em torno do poço, observada através de 48 estações amostrais. A região utilizada para controle foi definida como região de referência sendo localizada a 2500 metros do centro do poço. Três estações foram situadas ao Norte (N) e três estações ao Sul (S) do poço.

A distribuição das estações amostrais em cada radial de distância, bem como suas respectivas numerações são apresentadas na Figura.1.

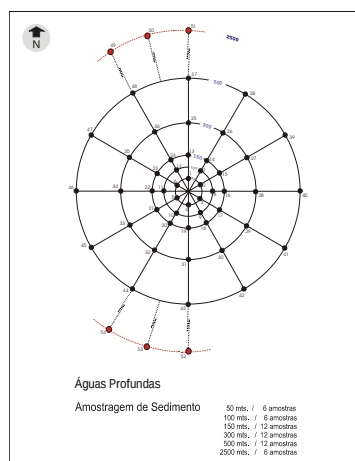


Figura 1. Localização das estações amostrais em cada radial de distância com a respectiva numeração.

A distribuição espacial das amostras foi repetida três (3) vezes no tempo. A primeira observação da área de estudo ocorreu antes da atividade de perfuração. A segunda deu-se um (1) mês após o término da perfuração e a terceira ocorreu aproximadamente um

(1) ano após a segunda observação da área. As observações realizadas antes da perfuração foram denominadas de MD1, e um mês após a perfuração MD2. As observações realizadas um (1) ano após o segundo cruzeiro (MD2), foram denominadas de MD3 (Figura 2).

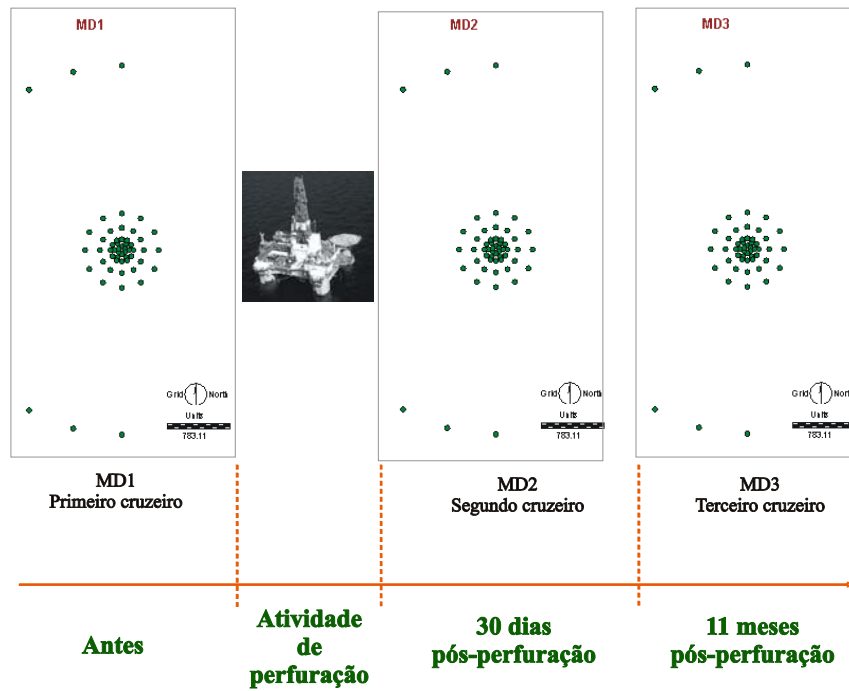


Figura 2. Delineamento amostral do projeto MAPEM – Planejamento BACI.

O delineamento amostral foi planejado para que as coletas realizadas ao longo do tempo fossem repetidas no mesmo local, definido a priori, por um vetor de coordenadas para cada estação amostral. O erro máximo é definido pelo raio fixado a partir da localização apontada pelo vetor de coordenadas para cada estação. A circunferência em torno do alvo delimitou uma área para a unidade de observação de onde foram extraídas sucessivas amostras ao longo do tempo. Assim as repetições identificadas pelos cruzeiros 1, 2 e 3 (MD1, MD2 e MD3) foram “pareadas” pelas condições ambientais da área como profundidade, distribuição granulométrica, parâmetros químicos etc, e definida pela proximidade das estações amostrais dentro de um erro admissível no processo de amostragem.

O modelo estatístico adotado permitiu testar hipóteses sobre possíveis mudanças com respeito as variáveis físicas, químicas e biológicas. A Análise de Variância com Medidas Repetidas utilizou métodos baseados em modelos mistos com estruturas paramétricas especiais nas matrizes de covariâncias. Os objetivos da análise podem ser resumidos em três pontos:

- i) Comparação dos diferentes grupos quanto ao padrão de variação das respostas ao longo do tempo (MD1, MD2 e MD3), isto é, a verificação da existência de interação entre o fator que define as regiões e o fator que define os três momentos observados no tempo (MD1, MD2 e MD3).
- ii) Comparação das diferentes regiões quanto as suas distribuições médias em relação aos diferentes tempos observados, verificando a existência de efeito do fator que define as regiões (componente Espacial).
- iii) Comparação dos diferentes Tempos (MD1, MD2 e MD3) quanto as suas distribuições médias em relação aos diferentes regiões, verificando a existência de efeito do fator que define os tempos (componente Temporal).

O modelo utilizado para alcançar os objetivos das análises acima foi o modelo de ANOVA (Análise de Variância) para medidas repetidas utilizando modelos mistos o qual tem a forma a seguir especificada. (PROC MIXED, Sas Institute Inc. 1999-2001):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{j(i)} + \beta_k + \alpha\beta_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

onde,

$$i = 1, 2 \quad j = 1, 54 \quad k = 1, 3$$

μ é a média final

α_i é o efeito Espacial

β_k é o efeito Temporal

$\delta_{j(i)}$ é o erro para o teste do efeito Espacial, representando a variação de repetições (estações) dentro dos níveis do efeito Espacial

$\alpha\beta_{ik}$ é o efeito da interação efeito Espacial x efeito Temporal

ε_{ijk} é o erro aleatório não-observável associado a observação

O efeito dado por $\alpha\beta_{ik}$ avalia a existência de interação entre os fatores, descrito anteriormente no item (i). O efeito dado por α_i avalia a componente espacial descrito pelo item (ii). Já o efeito identificado por β_k avalia a presença ou não da componente temporal definida no item (iii). Quando há rejeição da hipótese nula sobre o efeito $\alpha\beta_{ik}$, os efeitos α_i e β_k não foram avaliados individualmente, independentemente do nível descritivo amostral observado

A atividade de perfuração exploratória realizada na área estudada foi dividida em três fases, de acordo com os fluidos utilizados. A primeira fase é caracterizada pelo uso de água no processo, conhecido também como fase sem retorno. Na segunda fase foi utilizado o fluido base água (WBF), composto principalmente por água misturada com argila de bentonita e aditivos tais como sulfato de bário. Na terceira fase de perfuração foi utilizado fluido de base não-aquosa (NAF). Independentemente das diferentes fases, observou-se que algumas variáveis teoricamente ligadas à atividade de perfuração apresentavam mudanças após a perfuração. Através do uso de técnicas de análises estatísticas concluiu-se que as alterações provocadas pela atividade de perfuração não aconteciam igualmente para todas as direções. As variáveis associadas às atividades de perfuração que serviram de indicadores da região impactada são:

- i) Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)
- ii) Fração Linear de C14 a C20 + a fração não resolvida UCM de C14 a C20.
- iii) Bário (Ba)
- iv) Cascalho na superfície do compartimento sedimentar (Cuttings)

As variáveis TPH e fração C14 a C20 dos lineares mais UCM C14 a C20 definem claramente a região de deposição dos elementos provenientes da atividade de perfuração durante a fase que utilizou o fluido de base não-aquosa. A composição do fluido foi analisada qualitativamente em sua composição química. Foi constatada a contribuição de hidrocarbonetos alifáticos lineares C14 a C20 (Figura 3) sobre o total dos hidrocarbonetos de petróleo encontrados.

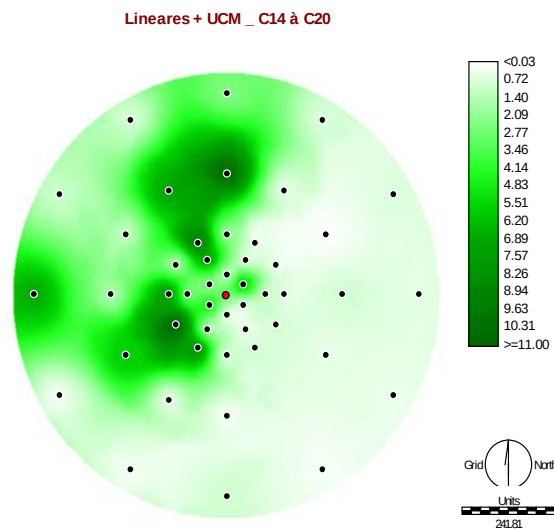


Figura 3. Distribuição espacial da fração lineares + UCM C14 a C20 três (3) meses após a perfuração (MD2)

A variável Bário (Ba) pode ser relacionada às duas fases de perfuração. Os registros de Bário (ppm) no sedimento marinho, descritos na Figura 4, podem estar simultaneamente associados à fase de perfuração que utilizou o fluido base água (WBF) e à fase com fluido não-aquoso (NAF).

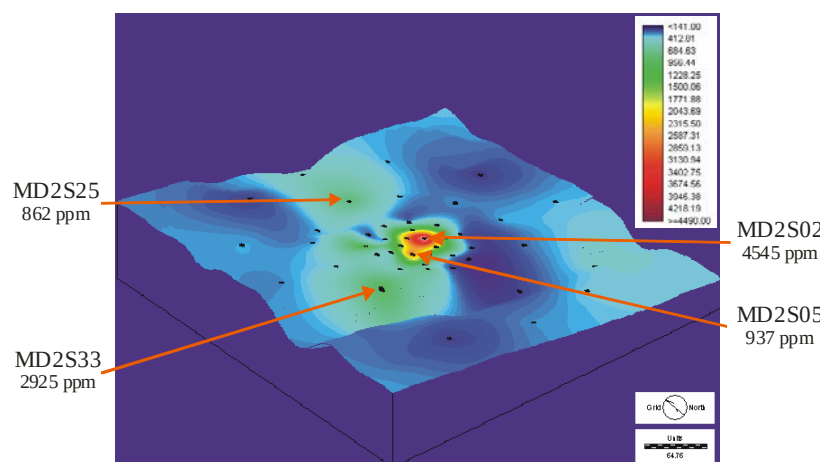


Figura 4. Distribuição espacial do Ba (ppm) sobre a batimetria de fundo, três (3) meses após a perfuração (MD2).

A terceira fase de perfuração é o alvo principal do estudo. As questões ligadas diretamente à presença de elementos constituintes de fluidos não aquosos (NAF) foram controladas através das demais fases de perfuração. Esta discriminação das fases foi feita com base na constituição química dos fluidos. Análises químicas mostraram que o fluido não-aquoso (NAF) tem na sua constituição a presença de hidrocarbonetos das frações lineares C14 a C20 mais a fração não resolvida UCM C14 a C20. A composição inicial indica uma área com registros da atividade de perfuração compreendendo todo o processo de perfuração. Primeiramente houve a deposição de material particulado oriundo da fase de perfuração sem retorno utilizando somente água. Num segundo momento houve a deposição de material oriundo da fase de perfuração com fluido aquoso (WBF), também sem retorno. Na terceira fase, esta com retorno à superfície (*riser*), depositou-se material no fundo marinho proveniente da fase de perfuração com a utilização de fluido não-aquoso (NAF). Esta ordenação no tempo da atividade de perfuração sugere um ordenamento físico na deposição do material produzido durante a perfuração. Assim, os registros da fase NAF encontram-se depositados sobre os registros das fases anteriores. A estratégia foi desenvolvida para isolar os efeitos da fase base água e da fase base não-aquosa. Cada variável indicadora teve seu ponto de corte definido a partir da observação do local antes da perfuração e três (3) meses após a perfuração. Estações amostrais observadas no segundo cruzeiro (MD2) que apresentaram valores maiores ou iguais aos pontos de corte para alguma variável indicadora, foram incluídas na área de impacto da atividade de perfuração. Os pontos de corte de cada variável estão descritos na Tabela 1

Tabela 1. Pontos de corte das variáveis indicadores da atividade de perfuração.

TPH	Média do Segundo Cruzeiro	$\bar{X} = 3.15 \text{ ppm}$
C14_C20	Média do Segundo Cruzeiro	$\bar{X} = 2.14 \text{ ppm}$
Ba	Média da Diferença entre Cruzeiros	$\bar{X}_D = 469.28 \text{ ppm}$
Cutting	2% da área do "Box Core" coberta (Análise Visual)	$2\% \leq \text{Impacto}$

TPH e a fração de lineares mais UCM C14 a C20 tiveram o ponto de corte definido pela média observada no segundo cruzeiro (MD2), o qual ocorreu um mês após a perfuração. O valor médio para o TPH no segundo cruzeiro (MD2) foi 3,15 ppm e o valor médio no segundo cruzeiro, da fração linear mais UCM C14 a C20 foi de 2,14 ppm. O ponto de corte do Bário (Ba) foi definido pela média da diferença entre as observações realizadas antes da perfuração e as observações três (3) meses após a perfuração. A média da diferença observada da variável Ba foi 469,28 ppm. A análise visual dos cascalhos de perfuração (*cuttings*) no *boxcorer* classificou as estações pertencentes à região de impacto com valores percentuais iguais ou superiores a 2%. A simulação do depósito de material sólido classificou as estações amostrais com deposição igual ou superior a 0,01cm como pertencentes à região de impacto da perfuração.

O conjunto formado pelas estações localizadas na área de impacto foi dividido em dois grupos distintos descritos na Figura 5. Um grupo é caracterizado pela presença de Bário (Ba) e/ou cascalho de perfuração (*cuttings*) com valores iguais ou superiores aos pontos de corte propostos. Este grupo de estações delimita uma área de registros da atividade com fluido base água (WBF) e foi denominado grupo WBF. O segundo Grupo é caracterizado pela presença de hidrocarbonetos lineares C14 a C20 mais a fração não resolvida UCM C14 a C20 juntamente com Bário e/ou cascalho de perfuração. Este grupo tem origem na contribuição das duas fases de perfuração onde foram utilizados os fluidos aquoso e não-aquoso (WBF e NAF).

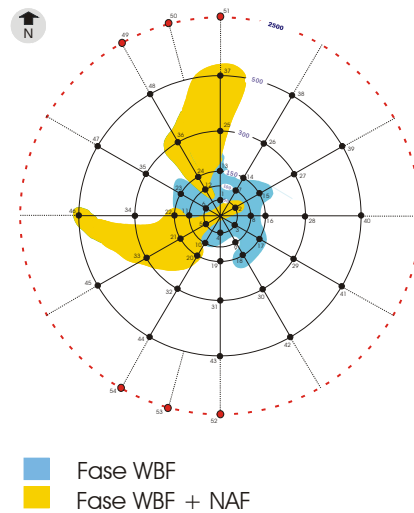


Figura 5. Descrição das áreas com registros das fases WBF e WBF + NAF, que definem os grupos para as análises BACI

3. Conclusão

Esta alternativa de análise classificou as estações distantes no máximo a 500 metros do centro do poço em três grupos distintos. O primeiro grupo formado por treze estações, foi definido como descrito anteriormente, “WBF” e é caracterizado por registrar somente indicadores do processo de perfuração com fluido base-água. O segundo grupo formado por doze estações, foi definido como “WBF + NAF” e caracteriza-se por registrar as fases com fluido aquoso e não-aquoso simultaneamente. O terceiro grupo foi denominado de anterior Fora da máscara ou “Out of Mask” (OM), agora constituído de vinte e três estações amostrais. Além das quarenta e oito estações, temos o terceiro grupo localizado a 2500 metros definido com Estações de Referência (REF).

Dos quatro (4) grupos definidos nesta estratégia de análise, três permitem controlar os efeitos espaciais e temporais separadamente. São eles, o grupo de estações localizados na área de referência (REF), o grupo localizado na área de controle interno próxima ao poço (OM) e o grupo localizado na área com registros da fase de perfuração com fluido base-água (WBF). O quarto grupo e de maior interesse apresenta efeitos aditivos das duas fases de perfuração. O modelo estatístico permite avaliar através das componentes espacial e temporal, se as mudanças ocorridas na área definida como WBF + NAF são decorrentes da atividade com fluido base-aquosa (WBF) ou não-aquosa (NAF), ou ainda das duas fases de perfuração somadas.

4. Agradecimentos

Os autores agradecem a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), ao Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP), e ao Fundo Brasileiro para Petróleo e Gás (CTPETRO) pelo apoio financeiro ao projeto “Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima (MAPEM)”.

5. Referências

- Cressie, N and Hawkins, D.M. (1980). Robust estimation of the variogram, I. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 12, 115-125.
- Cressie, N. (1991). *Statistics for Spatial Data*. New York: John Wiley & Sons.
- Diggle, P.J. and Ribeiro Jr, P.J. (2000). *Model Based Geostatistics*. 14º SINAPE, Associação Brasileira de Estatística – ABE.
- Mairs, H., Smith, J., Melton, R., Pasmore, J and Maruca, S. (2000). *Efeitos Ambientais dos Cascalhos Associados a Fluidos Não-aquosos: Fundamentos Técnicos*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo.
- Montgomery, D.C. (1997). *Design and Analysis of Experiments*. 4th Ed. New York: John Wiley & Sons
- Riboldi, J., Pretto, K., Feyh, M.H. e Boffo, G. (2002). SAS Versão 8.2: Modelos Mistos e Medidas Repetidas. *Cadernos de Matemática e Estatística, Série B, Nº64*. Instituto de Matemática. UFRGS.
- Wiens, J.A. and Parker, K.P. (1995). Analysing the effects of accidental environmental impacts: approaches and assumptions. *Ecological Applications*, 5(4), 1069-1083.