

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ÉRIC CESAR PAGLIARINI

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCO ECOLÓGICO (ARE) PARA
AVALIAÇÃO DE IMPACTOS EM ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS
ARTIFICIAIS (RESERVATÓRIO DE SALTO GRANDE,
AMERICANA, SP) E NATURAIS (BOM REPOUSO, MG)**

SÃO CARLOS, SP

2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCO ECOLÓGICO (ARE) PARA
AVALIAÇÃO DE IMPACTOS EM ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS
ARTIFICIAIS (RESERVATÓRIO DE SALTO GRANDE,
AMERICANA, SP) E NATURAIS (BOM REPOUSO, MG)**

Aluno: Éric Cesar Pagliarini

Orientadora: Dra. Vanessa Bezerra de Menezes Oliveira

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental,
da Escola de Engenharia de São
Carlos, da Universidade de São Paulo.

São Carlos, SP

2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

P138a Pagliarini, Éric Cesar
Aplicação da Análise de Risco Ecológico (ARE) para
avaliação de impactos em ecossistemas aquáticos
artificiais (Reservatório de Salto Grande, Americana,
SP) e naturais (Bom Repouso, MG) / Éric Cesar
Pagliarini; orientadora Vanessa Bezerra de Menezes
Oliveira; coorientador Evaldo Luiz Gaeta Espindola. São
Carlos, 2014.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2014.

1. Avaliação de Risco Ecológico (ARE). 2. Triade
Toxicológica. 3. Reservatório de Salto Grande. 4.
Município de Bom Repouso. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Eric Cesar Pagliarini**

Data da Defesa: 30/10/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Vanessa Bezerra de Menezes Oliveira (Orientador(a))


Aprovado

Bruna Horvath Vieira

Aprovado

Rhau de Oliveira

Aprovado



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091 - Trabalho de Graduação

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família, aos meus pais Miriam e Luis, que são exemplos de integridade e que me ensinaram o valor do respeito e do amor ao próximo. Aos meus irmãos, primos, avós, tios e tias, agradeço pelo apoio e pela união acima de tudo.

À Dra. Vanessa Menezes Oliveira, orientadora desse trabalho, por todo o esforço dedicado a mim, aos ensinamentos e à disponibilidade e agilidade em me ajudar e me corrigir a todo o momento.

Ao Prof. Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espíndola, orientador do meu projeto de Iniciação Científica, pela amizade e pela eficiência na solução dos problemas. E também pelo exemplo de pesquisador e professor que é para todos a quem leciona.

Aos funcionários, pesquisadores e técnicos do Núcleo de Ecotoxicologia e Ecologia Aplicada (NEEA) da EESC-USP, em especial ao doutorando André Sanchez e ao técnico Amândio Menezes Nogueira, pelos auxílios prestados durante todo o desenvolvimento desta pesquisa. .

À Dra Bruna Horvath Vieira e ao Dr. Rhaul Oliveira, por aceitarem meu convite sem hesitar e pela disponibilidade em participarem como avaliadores na banca examinadora deste trabalho de conclusão de curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de iniciação científica, a qual me permitiu ingressar à pesquisa no ano de 2013 (Processo FAPESP nº 2013/15586-0).

Aos alunos do mais diversos anos do curso de Engenharia Ambiental, ao qual manifesto meu orgulho, pelas grandes amizades que tenho em cada um deles, bem como aos grupos GEISA e SEA, que foram fundamentais na minha formação acadêmica.

Ademais, agradeço a minha querida sala Amb 010 por ter me suportado, pelo companheirismo, pelos ensinamentos e bom humor em cinco anos que se passaram em um piscar de olhos. Em especial, ao meu POVO e a República Feudo pela "sensibilidade", pelos diversos momentos felizes e por me apoiarem em mais um item desse *checklist* da minha vida.

RESUMO

PAGLIARINI, E. C. **Aplicação da Análise de Risco Ecológico (ARE) para avaliação de impactos em ecossistemas aquáticos artificiais (Reservatório de Salto Grande, Americana, SP) e naturais (Bom Repouso, MG)**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) é um método internacional de cálculo da probabilidade da ocorrência de eventos adversos a determinado ecossistema, podendo ser realizada de maneira preditiva ou descritiva. Esta ferramenta se baseia na integração de diversas variáveis com ênfase em três linhas de evidência (química, ecotoxicológica e ecológica), permitindo a valoração do risco (entre 0,0 e 1,0) para o ambiente degradado. De modo a ampliar a aplicação da ARE no Brasil, e tendo em vista a disponibilidade de informações sobre diferentes sistemas hídricos, optou-se em utilizar essa ferramenta em análise retrospectiva para o Reservatório de Salto Grande, Americana, SP, e em análise retrospectiva e atual para o município de Bom Repouso, MG, sistemas de grande importância hídrica e em avançado grau de degradação. Para a utilização da metodologia proposta foram definidos pontos referenciais, livres de contaminação, e foram utilizados valores da Resolução CONAMA 357/2005 para referência normativa. Para o reservatório, foram encontrados somente riscos considerados altos ou altíssimos, demonstrando grande degradação do ambiente, provavelmente gerada pela existência de um polo industrial localizado na região de Paulínia, além da intensificação da monocultura de cana-de-açúcar às margens do reservatório e da descarga de efluentes domésticos. Na análise retrospectiva realizada em águas de abastecimento urbano e rural da região mineira, os riscos variaram entre baixo e altíssimo, enquanto na análise atual os valores obtidos indicaram apenas riscos baixos e moderados, demonstrando melhora no quadro de degradação do ambiente ou ainda a diferença existente entre os períodos climáticos ou mesmo a diferenciação nas áreas de produção de batata e morango. O método utilizado demonstrou-se eficiente na valoração do grau de degradação do ambiente nos dois estudos de caso, porém, estudos adicionais são requeridos para minimização das incertezas do método e para permitir uma análise mais sistêmica dos impactos que ocorrem nas regiões, incluindo, por exemplo, os estudos com solos e sedimentos límnicos, complementares à avaliação da qualidade da água.

Palavras-chave: Avaliação de Risco Ecológico (ARE), Tríade Toxicológica, Reservatório de Salto Grande, Município de Bom Repouso.

ABSTRACT

PAGLIARINI, E. C. **Ecological Risk Assessment (ARE) application for the evaluation of the impacts in artificial (Salto Grande Reservoir, Americana, SP) and natural (Bom Repouso, MG) aquatic ecosystems.** Monography (Degree in Environmental Engineering) - São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2014.

The Ecological Risk Assessment (ERA) is an international method to calculate the probability of occurrence of adverse events for a certain ecosystem. ERA may be performed in two different ways: predictive and/or descriptive. The method is based on the integration of several variables emphasizing three lines of evidence (chemistry, ecotoxicology and ecology) allowing the valuation of the risk (between 0,0 and 1,0) for the degraded environment. In order to extend the application of the ERA method in Brazil, and considering the data availability regarding different water systems, it was chosen to apply this tool in a retrospective and actual analysis. For the Salto Grande reservoir, Americana, SP, a retrospective analysis was used and for the Bom Repouso city, MG, which is a very important water system and in advanced degree of degradation, both retrospective and actual analysis were used. For the application of the proposed method, reference sites, free of contamination, were defined and values for normative reference were derived from the CONAMA 357/2005 legislation. For the reservoir only high and very high risks were found showing a severe degradation of that environment, probably caused by the presence of an industrial hub situated in the Paulínia region, besides the domestic sewage discharge and the intensification of the monoculture of sugar-cane at the banks of the reservoir. In the retrospective analysis performed in drinking water of the urban and rural areas from Minas Gerais region, the calculated risks varied from low to very high, while in the actual analysis the obtained values indicated only low to moderated risks. The results showed improvement of the environment degradation scenario or yet the existing difference between climatic periods or the differentiation between the areas for the potatoes or strawberry plantations. The method used showed to be efficient to the valuation of the environment degradation degree in both study cases. However, additional studies are required for the minimization of the uncertainties and to allow a systemic analysis of the impacts occurring in the region including, for example, studies with soil and limnic sediments to complement the water quality risk assessment.

Keywords: Ecological Risk Assessment (ERA), Toxicological triad, Salto Grande Reservoir, Bom Repouso City.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma típico de um processo de tratamento de águas residuárias da indústria petroquímica.....	24
Figura 2 - Mapa político da cidade de Americana, SP, com destaque à represa de Salto Grande.....	30
Figura 3 - Atividades de uso/ocupação no entorno do reservatório.....	32
Figura 4 - Situação da margem do reservatório de Salto Grande no bairro Praia Azul (Americana, SP – Janeiro de 2014)	33
Figura 5 - Divisão dos compartimentos do reservatório de Salto Grande.	34
Figura 6 - Imagem de satélite do Reservatório de Salto Grande, na qual se verifica a extensão das macrófitas aquáticas em diversas porções do reservatório.	34
Figura 7 - Localização dos pontos de amostragem no Reservatório de Salto Grande	35
Figura 8 - Risco associado à Linha de Evidência Química para os quatro pontos de coleta e três períodos de análise no reservatório de Salto Grande.	39
Figura 9 - Risco associado à Linha de Evidência Ecológica para os quatro pontos de coleta e três períodos de análise no reservatório de Salto Grande.	41
Figura 10 - Risco associado à Linha de Evidência Ecotoxicológica para os quatro pontos de coleta e três períodos de análise no reservatório de Salto Grande.....	42
Figura 11 - Risco Integrado associado às três Linhas de Evidência para os quatro pontos de coleta e três períodos de análise no reservatório de Salto Grande.....	43
Figura 12 - Unidades de gestão da bacia Hidrográfica do Rio Grande	46
Figura 13 - Localização da bacia hidrográfica de montante do rio Mogi-Guaçu, com destaque ao município de Bom Repouso	47
Figura 14 - Cultivo de morango (esquerda) e de batata (direita) em Bom Repouso	48
Figura 15 - Risco associado à Linha de Evidência Química para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.....	53
Figura 16 - Risco associado à Linha de Evidência Ecológica para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.....	54
Figura 17 - Risco adaptado associado à Linha de Evidência Ecológica para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.....	55
Figura 18 - Risco associado à Linha de Evidência Ecotoxicológica para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.....	57
Figura 19 - Risco integrado para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.....	58
Figura 20 - Adaptação do Risco integrado para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.....	59
Figura 21 - Risco associado à Linha de Evidência Química para os cinco pontos de coleta para abril de 2014 no município de Bom Repouso.....	60

Figura 22 - Risco associado à Linha de Evidência Ecológica para os cinco pontos de coleta para abril de 2014 no município de Bom Repouso.	61
Figura 23 - Valores médios de mortalidade de organismos no teste de Toxicidade Aguda com <i>Daphnia silimis</i> para abril/2014, com identificação da margem de erro definida para o controle realizado e para cada um dos cinco pontos de coleta analisados.	62
Figura 24 - Valores médios de mortalidade de organismos no teste de Toxicidade Crônica com <i>Cerioaphnia silvestri</i> para abril/2014, com identificação da margem de erro definida para o controle realizado e para cada um dos cinco pontos de coleta analisados.	62
Figura 25 - Risco associado à Linha de Evidência Ecotoxicológica para os cinco pontos de coleta para abril de 2014 no município de Bom Repouso.	63
Figura 26 - Risco integrado para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise, no município de Bom Repouso.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metodologias e referências utilizadas nas análises das variáveis químicas, físicas e biológicas da água para determinação do risco do Reservatório de Salto Grande.....	36
Tabela 2: Caracterização geral das estações de coleta do Município de Bom Repouso, MG. .	49
Tabela 3: Metodologias e referências utilizadas nas análises das variáveis químicas, físicas e biológicas da água para determinação do risco do Município de Bom Repouso.	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1. Caracterização de Risco Ecológico	21
1.2. Caracterização dos Impactos Ambientais nos Estudos de Caso	23
1.2.1 Efluentes da Indústria Petroquímica: reservatório de Salto Grande	23
1.2.1 Agrotóxicos: Bom Repouso/MG	24
2. OBJETIVO	26
3. JUSTIFICATIVA	26
4. METODOLOGIA DA ARE	26
4.1. Linha de Evidência Química (LoE Química)	26
4.2. Linha de Evidência Ecológica (LoE Ecológica)	27
4.3. Linha de Evidência Ecotoxicológica (LoE Ecotoxicológica)	28
4.4. Integração das Linhas de Evidência	29
5. ESTUDOS DE CASO	29
5.1. Estudo de caso 1 - Reservatório de Salto Grande, Americana, SP	29
5.1.1. Caracterização da Área.....	29
5.1.2. Estações de Coleta e Períodos de Amostragem	35
5.1.3. Resultados.....	37
5.1.3.1. Linha de Evidência Química.....	37
5.1.3.2. Linha de Evidência Ecológica	39
5.1.3.3. Linha de Evidência Ecotoxicológica.....	41
5.1.3.4. Integração das Linhas de Evidência	42
5.1.4. Discussão	43
5.2. Estudo de caso 2 - Município de Bom Repouso, MG	45
5.2.1. Caracterização da Área.....	45
5.2.2. Estações de Coleta e Períodos de Amostragem	48
5.2.3. Resultados.....	51
5.2.3.1. Análise Retrospectiva.....	51
5.2.3.1.1. Linha de Evidência Química	51
5.2.3.1.2. Linha de Evidência Ecológica.....	53
5.2.3.1.3. Linha de Evidência Ecotoxicológica.....	55
5.2.3.1.4. Integração das Linhas de Evidência.....	57
5.2.3.2. Análise Atual.....	59
5.2.3.2.1. Linha de Evidência Química	59

5.2.3.2.2. Linha de Evidência Ecológica.....	60
5.2.3.2.3. Linha de Evidência Ecotoxicológica.....	61
5.2.3.2.4. Integração das Linhas de Evidência.....	63
5.2.4. Discussão.....	64
6. DISCUSSÃO GERAL.....	66
7. CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
ANEXO A.....	73
ANEXO B.....	79
ANEXO C.....	88
ANEXO D.....	92

ESTRUTURAÇÃO DA MONOGRAFIA

Esta monografia está apresentada em 7 seções, incluindo o referencial teórico para a realização da Avaliação de Risco Ecológico e dois estudos de caso utilizando o método citado, além dos itens de Referência Bibliográfica e Anexos. O texto encontra-se dividido da seguinte maneira:

- Na primeira parte (**item 1**) apresenta-se uma introdução geral ao tema da pesquisa, incluindo também embasamento teórico referente aos temas abordados nos dois estudos de caso;

- No **item 2** delimita-se o objetivo da presente pesquisa.

- No **item 3** procurou-se justificar as razões que conduziram a realização da pesquisa bem como a escolha dos locais para os estudos de caso, que serão descritos posteriormente;

- No **item 4** descreveu-se a metodologia utilizada para equacionamento do risco segundo o modelo proposto;

- No **item 5** foram apresentados os dois estudos de caso realizados, incluindo a caracterização da área e dos locais de amostragem, os resultados referentes a cada linha de evidência e a discussão;

- No **item 6** apresenta-se uma breve discussão acerca dos dois estudos de caso realizados;

- O **item 7** corresponde a conclusão geral, a qual foi baseada nos resultados discutidos e no método proposto.

1. INTRODUÇÃO

As ações antrópicas no meio ambiente causam inúmeros impactos diretos e indiretos aos ecossistemas nas mais diversas escalas. Diferentes variáveis e métodos para quantificar e qualificar esses impactos podem ser utilizados na avaliação dos danos já causados ou os possíveis riscos ao ambiente pelos agentes estressores. No entanto, a avaliação ambiental comumente ocorre de maneira isolada para cada parâmetro analisado, sendo necessários novos métodos que integrem cada análise de maneira a entender os efeitos causados ao ecossistema como um todo.

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) é um método que foi proposto pela Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA) durante a década de 1980, sendo estruturado pela mesma agência em 1992. Jensen e Mesman (2006) definem a ARE como uma técnica que calcula a probabilidade de efeitos ecológicos adversos ocorrerem em ecossistemas a partir de processos de coleta, organização e análise de dados ambientais, possibilitando a avaliação de impactos causados pelas diversas atividades antrópicas. Segundo Rodriguez et al. (2011), tal metodologia é útil não somente na apreciação da ação de agentes estressores no ecossistema, como também para o planejamento de alternativas de manejo e remediação devido ao maior nível de confiança que a análise integrada proposta gera.

Jensen e Mesman (2006) dividem a ARE em dois diferentes tipos. O primeiro, e mais utilizado, é chamado de preditivo, no qual se procura realizar a análise de substâncias perigosas para posterior autorização e manipulação das mesmas. O segundo é descritivo e utilizado para estimar as alterações ecológicas em áreas já degradadas.

A caracterização dos riscos com base na ARE pode ser realizada a partir da integração de três principais linhas de evidência, sendo elas: química, ecotoxicológica e ecológica. A primeira descreve quais substâncias químicas e em que quantidades o ambiente está exposto; a segunda analisa os efeitos sobre organismos de diferentes níveis tróficos por meio de testes padronizados e a terceira avalia de maneira qualitativa e quantitativa as características limnológicas/ecológicas do ecossistema.

Poucas pesquisas foram desenvolvidas no Brasil envolvendo o tema, sendo que entre os estudos realizados podem ser citados os de Niemeyer et al. (2010), desenvolvido em uma área contaminada por metais na cidade de Santo Amaro/BA; de Ferraz (2008), que analisou e comparou os riscos para o rio Monjolino, São Carlos/SP para os períodos seco e chuvoso e o de Sanchez (2012), que avaliou a qualidade de ecossistemas aquáticos na bacia hidrográfica do Lobo (Itirapina/Brotas, SP). Tallini et al. (2012), por sua vez, utilizaram o protocolo proposto pela EPA durante programa de monitoramento para o Rio Jacuí, no município de São Jerônimo (RS), e

concluiu que a ARE é um instrumento fundamental na tomada de decisão para a gestão de ambientes aquáticos.

Verifica-se assim, que novos estudos e aplicações da Avaliação de Risco Ecológico, demonstrando a viabilidade da análise integrada para os ecossistemas localizados em regiões tropicais e subtropicais do Brasil, fazem-se necessários.

No presente trabalho, optou-se pela aplicação do método descritivo da ARE em dois diferentes estudos de caso. O primeiro apresenta a valoração do risco ecológico em análise retrospectiva, referente ao ano 2000, a partir de análise contida em Dornfeld (2002), para o Reservatório de Salto Grande, no município de Americana, SP, local de grande aporte de contaminantes industriais. O segundo estudo foi realizado na cidade de Bom Repouso, MG, município de grande importância hídrica pela presença de diversas nascentes do rio Mogi-Guaçu, e alvo de degradação devido ao intensivo uso de agrotóxicos nas lavouras. No segundo caso foram realizadas análises retrospectiva (referente ao ano de 2008 a partir de monografia apresentada por REZENDE, 2009) e atual com dados de coletas realizadas no mês de abril de 2014.

A viabilidade de aplicação da ARE nestas áreas baseia-se no fato destes sistemas estarem inseridos em áreas com elevada degradação, e que também possuem imensa quantidade de informações descritas na literatura, o que envolve aspectos físicos, químicos, biológicos e ecotoxicológicos da matriz água, em diferentes escalas de tempo.

1.1. Caracterização de Risco Ecológico

Internacionalmente, os modelos para a caracterização de riscos são amplamente utilizados devido, principalmente, à regulamentação realizada por órgãos ambientais americanos e europeus (GHEJU e BOGATU 2009). A Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) elaborou em 1998 as diretrizes para a realização da Avaliação de Risco Ecológico no país, definindo que a ARE pode ser dividida em três fases primárias: 1) formulação do problema; 2) análise e 3) caracterização de riscos, devendo ser trabalhadas por equipes multidisciplinares.

Também em 1998, a agência europeia de meio ambiente (EEA) elaborou um documento que examina as possíveis abordagens de avaliações de risco para o meio ambiente, citando diversas experiências como a identificação dos riscos para o mercado de biocidas realizado pela Suécia em 1990 e a introdução do conceito de gestão de risco na legislação ambiental holandesa entre os anos de 1986 e 1990. O documento ainda possui capítulos que identificam como utilizar a avaliação de risco nas indústrias e na regulamentação de produtos químicos, em produtos

fitofarmacêuticos e para organismos geneticamente modificados (GHEJU e BOGATU, 2009).

A boa estruturação internacional dos processos da ARE permitiu inúmeros trabalhos contendo suas aplicações fossem realizados, tendo a maioria enfoque em ambientes de clima temperado, como por exemplo, as pesquisas realizadas por Gheju e Bogatu (2009), que avaliaram o risco da presença de amônia em efluentes de esgoto tratado do rio Bega/Romênia, utilizando invertebrados aquáticos e anfíbios. Ward et al. (2007) pesquisaram o risco para espécies endêmicas de mexilhões em três córregos da Carolina do Norte e o trabalho de Rand et al. (2010) indicou os riscos do pesticida Endosulfan para ambientes de água doce do sul do estado da Flórida nos Estados Unidos.

No Brasil, o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) publicou em 2011 um documento caracterizando a Avaliação de Risco Ecológico e as possíveis metodologias utilizadas. O texto segue a caracterização de ARE feita pela USEPA e cita, entre as possíveis metodologias, a tríade de integração química, ecotoxicológica e ecológica, além de possuir um capítulo demonstrando uma aplicação da ARE na Baía de Guanabara e na Baía da Ribeira, na cidade do Rio de Janeiro (CETEM, 2011).

Mesmo com a caracterização realizada em 2011, ainda não existem normas padronizadas para a ARE no Brasil, sendo normalmente utilizadas as metodologias descritas pela USEPA. Os primeiros passos com relação à normatização para ARE estão sendo dados neste momento junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio do Grupo Técnico de Risco Ecológico, que possui tem como perspectiva o lançamento de um documento inicial no ano de 2015.

A avaliação de risco ecológico não possui uma metodologia padrão de análise, sendo necessário que, durante a formulação do problema, seja estudada qual a melhor técnica a ser utilizada para a avaliação (CETEM, 2011). Segundo Niemeyer (2012), os estudos acerca da avaliação de risco são majoritariamente baseados na caracterização química do solo ou dos recursos hídricos, não incluindo estudos biológicos e ecotoxicológicos, fatores importantes para o estudo de recuperação de áreas degradadas.

Segundo Jensen e Mesman (2006), a tríade, originalmente desenvolvida para avaliar a qualidade do sedimento, é um eficiente método de abordagem para a ARE, pois dá evidência e coloca escalas em variáveis químicas, ecológicas e ecotoxicológicas, conduzindo a uma análise mais detalhada, quando comparada a uma abordagem baseada em somente um destes aspectos.

Os mesmos autores também definem que para a aplicação do método da tríade dois diferentes valores de referência são necessários. O primeiro utiliza valores

da concentração dos contaminantes no local da análise (chamado de *background*), para isso, deve-se escolher um ponto de coleta livre de contaminação na próxima região ou próxima a ela, de modo a determinar se altas concentrações químicas ocorrem naturalmente na região, caso não ocorra ponto livre de contaminação na região amostrada é possível que se utilize dados de sistemas semelhantes ao do estudo, menos degradados. A segunda referência utilizada é a normativa, que indica que mesmo os parâmetros estando presentes, o ambiente não se encontra em estado de contaminação e não tem seus usos múltiplos afetados.

Os resultados de cada linha de evidência que compõem a tríade e os resultados finais, contando com as três linhas integradas, apresentam-se em uma escala que varia de 0,00 a 1,00. Para melhor interpretação dos dados obtidos, Jensen e Mesman (2006) e Ferraz (2008) apresentam quatro intervalos de classificação dos valores de risco encontrados, definidos pela faixa: de 0,00 a 0,25, Risco Ecológico Baixo; de 0,26 a 0,50, Risco Ecológico Médio; de 0,51 a 0,75; Risco Ecológico Alto e de 0,76 a 1,00, Risco Ecológico Altíssimo.

1.2. Caracterização dos Impactos Ambientais nos Estudos de Caso

1.2.1 Efluentes da Indústria Petroquímica: reservatório de Salto Grande

Os efluentes líquidos industriais podem ser gerados a partir da utilização da água em diversos processos, como na incorporação ao próprio produto, nas lavagens de máquinas, tubulações e pisos, em sistemas de resfriamento e de geração de vapor e em esgotos sanitários dos funcionários, sendo a água contaminada pelos resíduos industriais desses processos, originando efluentes que ao entrarem em contato com os corpos receptores alteram suas características físicas, químicas e biológicas, degradando todo o sistema envolvido (GIORDANO, 2009).

Para a obtenção de produtos petroquímicos se faz necessário que o petróleo bruto, com pouca aplicação comercial, seja refinado através de etapas de beneficiamento que o separe em frações desejadas (MARIANO, 2001). Alva-Argáez et al. (2007) evidenciam que durante esse processo grande quantidade de água é utilizada, porém, apesar desse potencial de redução do volume de efluentes descartados pela indústria petroquímica, há pouco ou nenhum reuso e reciclagem dessa água. Mariano (2009) cita que os efluentes da indústria petroquímica são basicamente quatro: 1) resíduos de eventuais derramamentos ou vazamentos, além de materiais coletados pelas canaletas de drenagem; 2) águas de refrigeração, que não entram em contato direto com as correntes de óleo e são facilmente reutilizadas, porém, contém diversos aditivos químicos; 3) águas de processo, que entram em

contato direto com as correntes de óleo, sendo contaminadas; e 4) efluentes sanitários.

O fluxograma típico para o tratamento de efluentes petroquímicos é apresentado na Figura 1. Nele são apresentados os processos de tratamento primário, que consistem na separação do óleo por processos físicos como a decantação, centrifugação e flotação; o tratamento secundário, que se dá por meio de processos biológicos aeróbios a partir de lodos ativados ou filtros; e o tratamento terciário, quando existente, retira as impurezas remanescentes por meio de filtros com areia, antracito ou carvão ativado (WIMMER, 2007; MARIANO 2001).

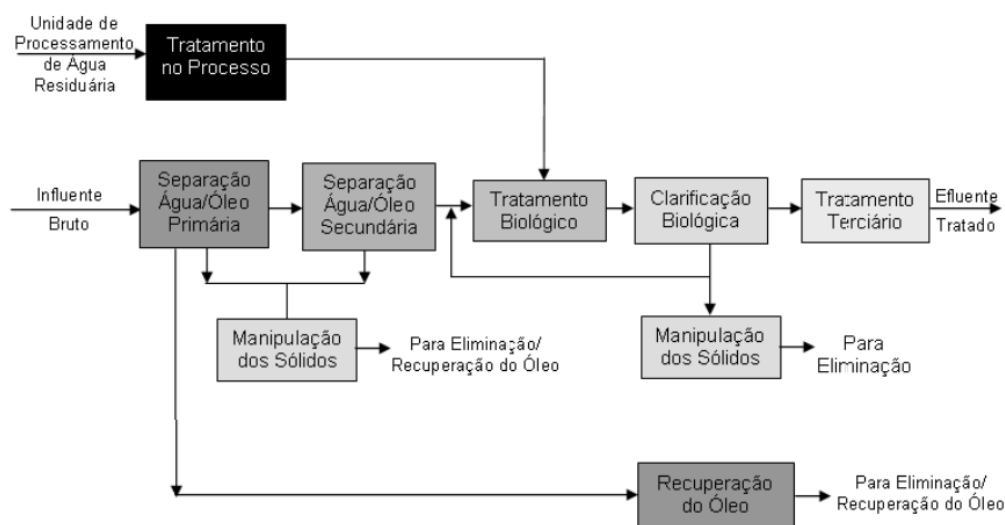


Figura 1 - Fluxograma típico de um processo de tratamento de águas residuárias da indústria petroquímica. Fonte: Wimmer, 2007.

A eficiência do tratamento depende da concentração inicial e da toxicidade dos contaminantes presentes, sendo necessário um estudo caso a caso para complementar o tratamento convencional (BARBOSA et al., 2007). Quando não tratados corretamente, os efluentes petroquímicos podem acarretar em grande degradação do corpo receptor, como é verificado no reservatório de Salto Grande, no município de Americana, SP, situado a jusante do polo petroquímico de Paulínia e que também sofre por pressões pelo uso urbano e de diversas culturas, principalmente a da cana-de-açúcar, em seu entorno.

1.2.1 Agrotóxicos: Bom Repouso/MG

O termo agrotóxico, como definido pela Lei Nº 7.802, de 11 de julho de 1989, não inclui fertilizantes e nem agentes químicos de estímulo de crescimento animal, dando ao termo a seguinte terminação:

"Os produtos e os componentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao uso nos setores de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas nativas ou implantadas e de outros ecossistemas e também em ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora e da fauna, a fim de preservá-la da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores do crescimento."

Desde o início da década de 1920 os agrotóxicos (que inicialmente eram conhecidos unicamente como defensivos agrícolas) são utilizados na agricultura para o controle de doenças e pragas. No Brasil, o uso intensivo dos agrotóxicos teve seu início na década de 1960, sendo que em 1975 o Plano Nacional de Desenvolvimento determinou a inclusão de uma cota de agrotóxicos para cada financiamento, o que, somado às propagandas dos fabricantes, disseminou o uso de agrotóxicos pelo país (OPAS, 1996).

O Brasil foi considerado o maior consumidor de agrotóxicos do mundo em 2008 (LONDRES, 2011) e desde então vem se mantendo entre os países que mais consomem agrotóxicos em suas culturas. A utilização do agrotóxico na agricultura brasileira tem como objetivo o aumento da qualidade e da produtividade das culturas, e a redução do custo de mão de obra, porém, sua difícil degradação pode afetar negativamente a vida selvagem, a saúde humana e a qualidade do solo e da água (SILVA e FAY, 2004).

Da Silva (2004) evidencia a grande dissipação dos agrotóxicos no ambiente e os processos de interação que fazem com que eles alcancem direta e/ou indiretamente o ar, o solo, a água, o sedimento e a biota. O ambiente aquático superficial pode ser alcançado a partir dos processos de aplicação intencional, deriva ou escoamento superficial, além da lixiviação dos agrotóxicos no solo ocasionarem a contaminação dos lençóis freáticos, local de grande dificuldade para que ocorra a descontaminação. (TOMITA e BEYRYTH, 2002).

A falta de conhecimento sobre os impactos negativos dos agrotóxicos, aliado a necessidade de crescimento da produção agrícola e conseqüente melhoria da situação econômica local fazem com que regiões essencialmente agrícolas utilizem a aplicação intensiva desses agentes químicos, tendo como conseqüência graves efeitos na saúde da população local. Este é o caso Bom Repouso, município mineiro

cujas principais atividades econômicas são agrícolas, pelo cultivo da batata e do morango, demandando a utilização de grande quantidade de agrotóxicos.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi aplicar a Avaliação de Risco Ecológico (ARE), a partir de sua análise descritiva, nos estudos de caso do Reservatório de Salto Grande (SP) e do município de Bom Repouso (MG). Para tanto foi utilizada uma análise integrada da matriz água, por meio das linhas de evidência química, ecológica e ecotoxicológica.

3. JUSTIFICATIVA

O ambiente aquático, em suas diferentes vertentes, como nos sistemas lóticos e lênticos, possui grande sensibilidade aos mais diversos poluentes, pois sua degradação afeta todo um ecossistema causando alterações de difícil remediação, evidencia-se assim, a necessidade do estudo e monitoramento desses sistemas.

A importância hídrica como o Reservatório de Salto Grande, localizado na cidade de Americana, SP, se dá principalmente pela geração de energia e por seu histórico de uso para lazer e recreação. O município de Bom Repouso, MG, por sua vez, é o local de nascente do Rio Mogi-Guaçu, com mais de 900 nascentes próximas a áreas de cultivo. A grande quantidade de informação já publicada sobre ambos os ambientes, aliado ao avançado grau de degradação observado em visitas recentes aos locais, foram os principais motivadores para a escolha dos dois estudos de caso.

A utilização da metodologia de Avaliação de Risco Ecológico com equacionamento do risco ocorreu devido a crescente utilização desse método no país, de modo a incentivar a aplicação da ARE no país, levando a criação de referências normativas nessa área.

4. METODOLOGIA DA ARE

4.1. Linha de Evidência Química (LoE Química)

A partir da metodologia proposta por Jensen e Mesman (2006) é definida abaixo a importância e o equacionamento de cada linha de evidência da tríade, para determinação final de um risco integrado.

Para a análise da linha de evidência química foram avaliadas as concentrações totais de metais de grande importância ambiental, ou seja, que podem ocasionar problemas à saúde pública quando em altas concentrações e que são regularmente monitorados na área de pesquisa.

Ambos os valores referenciais são utilizados para esta linha de evidência, em diferentes momentos do equacionamento. Com os valores encontrados a partir dos estudos e dos valores considerados como de referência para cada contaminante, seguem-se os seguintes cálculos para a quantificação dos riscos para a LoE Química:

R3 = pressão tóxica de cada substância/elemento;

R2 = valores de referência para os contaminantes;

R1 = concentração de cada substância/elemento, nas estações de coleta.

- 1) Cálculo de R3 para cada contaminante, pela razão entre R1 e R2.
- 2) Cálculo do risco para cada contaminante, de acordo com a fórmula:

$$R4 = 1 - \frac{1}{1 + R3}$$

- 3) Correção do valor em relação ao ponto de referência, por meio da fórmula:

$$R5 = \frac{R4 - R4_{REF}}{1 - R4_{REF}}$$

- 4) Com o valor corrigido para cada substância, e sendo n o número de variáveis, calcula-se o risco combinado para todos os contaminantes com base na fórmula:

$$R6 = 1 - ((1 - R5)_1 \times (1 - R5)_2 \times (1 - R5)_3 \times \dots \times (1 - R5)_n)$$

Visando uma maior confiabilidade dos dados para o cálculo do risco combinado para todos os contaminantes, uma análise da relevância para a ARE se faz necessária, devendo ocorrer uma atribuição de pesos para cada parâmetro permitindo atenção especial a grupos com funções específicas, em que variáveis com maior grau de incerteza ou com grande faixa de resultados devam possuir peso menos relevante (JENSEN e MESMAN, 2006).

4.2. Linha de Evidência Ecológica (LoE Ecológica)

A linha de evidência ecológica tem como parâmetros básicos dados limnológicos que irão caracterizar as funções e a produtividade das comunidades do sistema aquático a partir de diversas variáveis físicas e químicas do sistema.

Do mesmo modo que a linha de evidência química, a correção dos valores desta linha de evidência é feita a partir de valores de referência de qualidade para cada contaminante, através da referência normativa. Valores de *background* não são utilizado para essa LoE.

A atribuição de pesos, para análise da relevância de cada contaminante, também se mostra necessária para essa linha de evidência, seguindo os mesmos critérios da LoE Química.

Para o escalonamento dos diversos parâmetros ecológicos em um único valor, é utilizada a fórmula do BKX, sendo assim, o valor do risco é encontrado a partir dos seguintes passos:

- 1) Divisão dos valores dos parâmetros pelo valor de referência associado (obtenção de valores R1);
- 2) Cálculo dos valores de log absolutos para cada valor de R1, com a atribuição dos pesos (obtenção de valores R2);
- 3) Obtenção de R3 pela fórmula: $R3 = \sum R2 \times (-1)$
- 4) Divisão dos somatórios pelo número de tipos de parâmetros considerados (R4) (obtenção de valores R5);
- 5) Cálculo do valor geométrico médio (R6), subtraindo de 1 o valor de 10^{R5} , onde R5 representa o valor obtido para cada estação, no passo anterior.

4.3. Linha de Evidência Ecotoxicológica (LoE Ecotoxicológica)

Os ensaios ecotoxicológicos são realizados para a avaliação da resposta de organismos-teste aos elementos estressores do ecossistema, podendo ser realizados de forma aguda, de curta duração, avaliando parte do ciclo de vida do organismo com a análise de mortalidade, imobilidade ou influência de reações bioquímicas; ou de forma crônica, que abrangem parte ou todo o ciclo de vida dos organismos, avaliando parâmetros subletais como reprodução, crescimento e deformidades (ROMANELLI, 2004).

Os cálculos dos riscos para essa linha de evidência seguiram o modelo proposto por Jensen e Mesman (2006), em que os valores de toxicidade encontrados são escalonados pelas seguintes etapas, onde REF representa os valores de *background* encontrados:

- 1) Divisão por 100 dos valores de mortalidade expressos em porcentagem (Obtenção de valores R1);
- 2) Obtenção do risco pela fórmula: $R2 = \frac{(R1 - R_{REF})}{(1 - R_{REF})}$.

Com os valores de risco definidos para os ensaios agudo e crônico, realiza-se os cálculos para integração da seguinte maneira:

- 1) Cálculo dos valores de $R1 = \log(1 - X)$, onde X é o valor de risco;
- 2) Cálculo das médias (R2) dos valores obtidos no passo 1;
- 3) Os valores obtidos no passo 2 foram transformados por meio da fórmula expressa como $R3 = 1 - 10^{R2}$, onde R3 representa o risco integrado.

4.4. Integração das Linhas de Evidência

A avaliação de risco ecológico tem como valor final uma análise integrada das três linhas de evidência analisadas (química, ecotoxicológica e ecológica), resultando em um valor único e geral para o risco existente nos ecossistemas da região. Tal integração é realizada de acordo com os seguintes passos:

- 1) Cálculo dos valores de $R1 = \log(1 - X)$, onde X é o valor de risco (associado a cada linha de evidência);
- 2) Cálculo das médias aritméticas ponderadas (R2) dos valores obtidos para R1.
- 3) Transformação dos valores obtidos para R2 por meio da fórmula expressa como $R3 = 1 - 10^{R2}$, onde R2 onde representa o risco integrado final para cada ponto amostral.

5. ESTUDOS DE CASO

5.1. Estudo de caso 1 - Reservatório de Salto Grande, Americana, SP

5.1.1. Caracterização da Área

O Reservatório de Salto Grande (Figura 2) está localizado no município de Americana, centro-leste do Estado de São Paulo, inserido na sub-bacia do rio Atibaia e da bacia hidrográfica do rio Piracicaba, que pertence a Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo nº 5 (UGRHI 5).

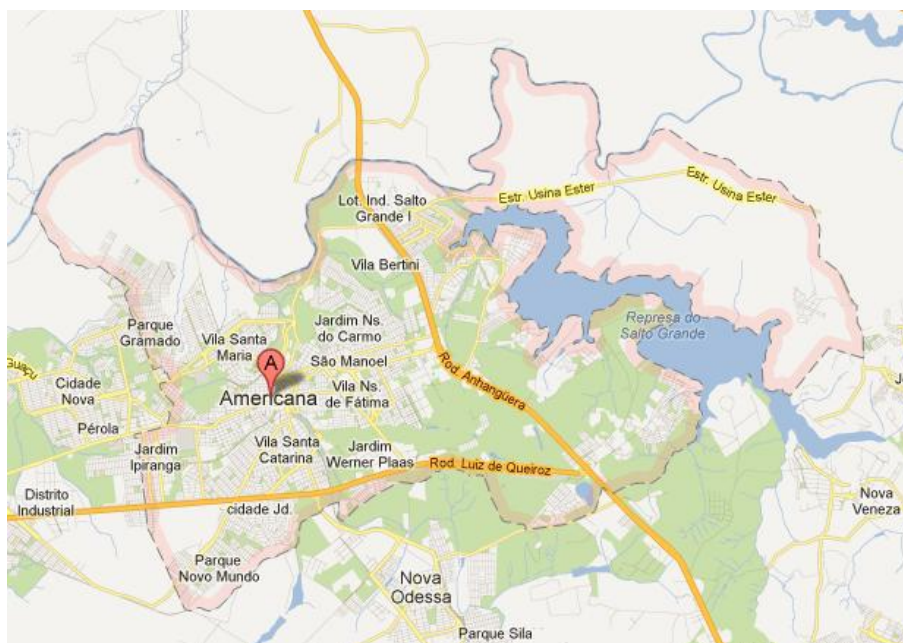


Figura 2 - Mapa político da cidade de Americana, SP, com destaque à represa de Salto Grande (Google, 2013).

Segundo Espíndola et al. (2004), o principal formador do reservatório de Salto Grande é o rio Atibaia, que nasce da confluência dos rios Cachoeira e Atibainha, entre as cidades de Bom Jesus dos Perdões e Atibaia, e apresenta uma vazão média mensal de $35,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com grande variação ao longo do ano (CETESB, 2013).

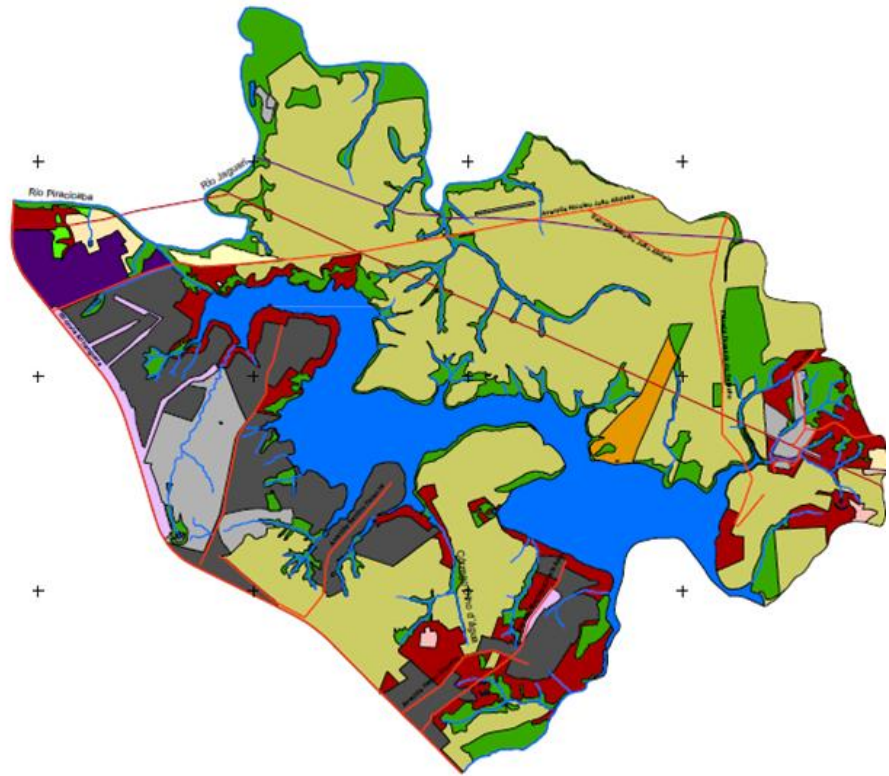
Com a finalidade de geração de energia elétrica, o reservatório de Salto Grande foi construído entre os anos de 1940 e 1949, com o início da operação da Usina Hidroelétrica de Americana, a partir de três geradores, em 1950. Contando com uma área de drenagem de 2770 km^2 e um tempo médio de retenção de água de 30 dias, o reservatório é classificado como de pequeno porte, de acordo com Straškraba e Tundisi (1999), e possui como finalidade os usos múltiplos da água, além de projetos de irrigação, piscicultura, recreação e abastecimento (DEBERDT *apud* ESPÍNDOLA et al, 2004).

Fonseca (2008) evidencia a grande mudança ocorrida na relação da população residente da região com o reservatório de Salto Grande, levando ao abandono da área, comprometendo em parte seus diversos usos. Tal mudança foi ocasionada pela contaminação do rio Atibaia, gerada pela elevada quantidade de efluentes industriais recebidos a partir do polo petroquímico da cidade de Paulínia, além de esgotos domésticos de cidades localizadas a sua montante e de fontes difusas da área agrícola de cana-de-açúcar, laranja e pastagem, que se localizam as suas margens (LEITE et al., 2004).





Os diversos aspectos ambientais que afetam a qualidade do rio Atibaia também são encontrados no entorno do Reservatório de Salto Grande, o que pode ser

visualizado na Figura 3, a qual indica os diversos usos e ocupações do solo, demonstrando as áreas vegetadas, urbanas e industriais, além das atividades e ocupações agrícolas que geram a poluição difusa na água.

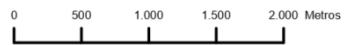
Problemas ambientais como a proliferação de aguapés, a eutrofização e a presença de criadouros de mosquitos foram identificados por Höfling et al. (2000) e implicam em riscos ambientais e de saúde pública, além dos econômicos, considerando a desvalorização dos imóveis e condomínios instalados às margens da represa, bem como a redução das atividades de recreação outrora ali desenvolvidas (LEITE et al., 2004).



Legenda:

-  Vias de circulação
-  Gasoduto-Oleoduto
-  Rede Elétrica
-  Hidrografia

Projeção:
 Universal Transversa de Mercator
 SAD 1969
 Zona 23S
 Fontes: Cartas Planialtimétricas IGC, 2002 - escala 1:10.000
 Interpretação Imagens EROS A, 2005
 Levantamentos de Campo, 2007



Execução: Marcelo Fernando Fonseca, 2007.

Classes de uso:








- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Urbano consolidado |  Cultura Anual |
|  Urbano em consolidação |  Fruticultura perene |
|  Industrial |  Eucalipto |
|  Comércio e Serviços |  Vegetação natural |
|  Mineração |  Pastagem |
|  Cana-de-açúcar |  Corpos d'água |
|  Citrus | |

Figura 3 - Atividades de uso/ocupação no entorno do reservatório (Fonseca, 2008).

A realização de uma visita ao local de estudo em janeiro de 2014 permitiu observar que os problemas identificados em 2000 se agravaram, havendo total descaso da população e do poder público com a área, como verificado na Figura 4, que demonstra o depósito de resíduos domésticos nas margens do reservatório e a proliferação de macrófitas.



Figura 4 - Situação da margem do reservatório de Salto Grande no bairro Praia Azul (Americana, SP – Janeiro de 2014 – Foto do autor).

A síntese dos estudos desenvolvida desde 1972 no reservatório de Salto Grande, sumarizados por Espíndola et al. (2004) no livro **Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): caracterização, impactos e propostas de manejo**, permitiu reconhecer a formação de três compartimentos distintos (Figura 5), com separação física e comportamentos distintos, e classificar o reservatório como hipereutrófico, estado de enriquecimento máximo de nutrientes, com *blooms* frequentes de cianobactérias (principalmente dos gêneros *Microcystis* e *Anabaena*), proliferação de macrófitas (*Brachiaria* e *Eichornia*), elevado aporte de sedimentos (70 kg/m²/ano) na região de montante e elevada toxicidade (água e sedimento) para organismos planctônicos, bentônicos e peixes) em função da estação e período de amostragem.

Imagens de satélite permitem a identificação do atual estado de proliferação das macrófitas, demonstrando seu total avanço sobre o primeiro compartimento do reservatório e o grande avanço nas margens do segundo e terceiro compartimento, como demonstrado na Figura 6.

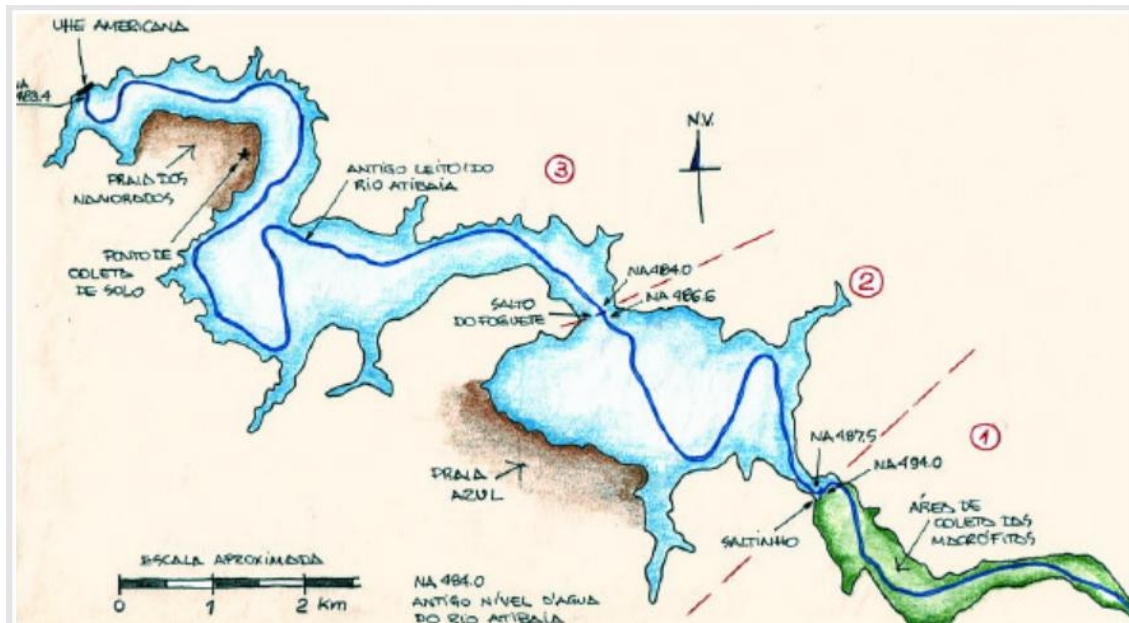


Figura 5 - Divisão dos compartimentos do reservatório de Salto Grande (Fonte: Faria, 2002).



Figura 6 - Imagem de satélite do Reservatório de Salto Grande (Google, 2013), na qual se verifica a extensão das macrófitas aquáticas em diversas porções do reservatório (setas).

5.1.2. Estações de Coleta e Períodos de Amostragem

A análise de diversas variáveis limnológicas, químicas e de bioensaios, contemplando diversos parâmetros para a avaliação de risco ecológico no reservatório de Salto Grande, é apresentada na dissertação de Dornfeld (2002). Para cada variável foram realizadas coletas em diferentes profundidades, não havendo um número de coletas fixas para todas as variáveis ou para cada ponto de coleta. Com isso, foi realizada uma média entre as medições nas diversas profundidades de modo a encontrar um valor único de cada uma das variáveis das linhas de evidência química e ecológica para cada ponto e período para ser utilizado nas equações da ARE.

A coleta de amostras de água em Dornfeld (2002) ocorreu em quatro diferentes pontos de coleta, estando P1 localizado a jusante do primeiro compartimento, P2 a jusante no segundo compartimento e P3 e P4 localizados próximos a meandros do reservatório no terceiro compartimento, como é possível verificar na Figura 7. A amostragem ocorreu em três diferentes períodos do ano 2000, nos meses de maio, agosto e novembro, abrangendo diferentes estações do ciclo hidrológico local.



Figura 7 - Localização dos pontos de amostragem no Reservatório de Salto Grande (adaptado, Google, 2014).

Para o cálculo do risco da Linha de Evidência Química como descrito em Jensen e Mesman (2006), os parâmetros propostos neste primeiro estudo de caso foram as concentrações totais dos metais ferro, manganês, chumbo, cobre, zinco e

cádmio, metais de grande importância ambiental, ou seja, que podem ocasionar problemas à saúde pública quando em altas concentrações e que são regularmente monitorados na área de pesquisa. A Linha de Evidência Ecológica (que possui resultados descritos na sub-seção 5.1.3.2) contou com o equacionamento de risco para as variáveis condutividade e concentrações de oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal, clorofila *a*, pH e temperatura da água. As metodologias utilizadas para a caracterização das variáveis citadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Metodologias e referências utilizadas nas análises das variáveis químicas, físicas e biológicas da água para determinação do risco do Reservatório de Salto Grande.

Variáveis	Metodologia/Referência
Metais Totais (Fe, Mn, Pb, Cu, Zi e Cd - mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria / APHA (1995)
pH	Multi-sensor Horiba U-10
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	Multi-sensor Horiba U-10
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	Multi-sensor Horiba U-10
Temperatura da Água (°C)	Multi-sensor Horiba U-10
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria / APHA (1995)
Nitrato (mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria / Mackereth et al. (1978)
Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria / APHA (1995)
Clorofila <i>a</i>	Espectrofotometria / Nush (1980)

Para a Linha de Evidência Ecotoxicológica (com resultados descritos na sub-seção 5.1.3.3) foi utilizada a porcentagem de imobilidade do organismo teste *Daphnia similis* para o teste agudo, com três réplicas em cada ponto de coleta, conforme norma nacional ABNT NBR 12.713.

Para todo o entorno do reservatório não foi encontrado um local livre de contaminação cujas concentrações pudessem ser utilizadas como valor de referência, os quais são necessários para o equacionamento da LoE Química e da LoE Ecotoxicológica. Desta forma, valores de referência foram obtidos de estudos no reservatório do Lobo (Broa), localizado na cidade de Itirapina e Brotas/SP e encontrados em Sanchez (2012), que possui algumas características similares ao reservatório de Salto Grande em relação ao clima, tamanho (ambos classificados como reservatórios de pequeno porte) e usos múltiplos. Além disso, o reservatório do Lobo é um dos sistemas lacustres artificiais mais estudados no Brasil, com informações disponíveis desde 1975 e que apresenta uma situação de uso e aumento

dos problemas ambientais muito semelhantes ao de Salto Grande, embora em escala significativamente menor. O banco de dados gerados no reservatório do Lobo permitiu, inclusive, a concepção de um modelo de funcionamento de sistemas artificiais: o Modelo Broa, no qual todos os fatores interferentes, bióticos e abióticos, foram analisados (TUNDISI, 2014).

Como reservatórios não possuem classificação específica com valores padronizados de emissão, foram utilizados dados do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA Nº 357) para rios de Classe 2, como o rio Atibaia, principal formador do reservatório, para a correção a partir de valores padrão de qualidade da água para cada parâmetro.

5.1.3. Resultados

5.1.3.1. Linha de Evidência Química

A concentração de metais na água é proveniente majoritariamente de despejos industriais, devendo ocorrer baixa ou nenhuma concentração desses metais em águas livres de contaminação como a da nascente da represa do Lobo, utilizada como referencial. A não ocorrência de concentrações dos metais ferro, manganês, cobre e cádmio, neste local de referência, demonstra que ele está livre de uma grande quantidade de despejos industriais desta natureza. Porém, neste mesmo ponto, a concentração de chumbo identificada está acima do permitido para rios de Classe 2, podendo indicar uma fonte de poluição na região ou uma forte concentração natural deste metal no local.

Para a concentração do metal ferro, nota-se que em P1 foram obtidas concentrações entre $0,372 \text{ mg.L}^{-1}$ (agosto/2000) e $0,544 \text{ mg.L}^{-1}$ (maio/2000), acima do permitido para rios de classe 2 ($0,300 \text{ mg.L}^{-1}$) para os três períodos analisados. Para os demais pontos de coleta, o mês de novembro apresentou maiores concentrações de ferro total, com valor máximo de $0,627 \text{ mg.L}^{-1}$ para P2.

A concentração de manganês manteve-se abaixo do permitido ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) em todas as análises, com exceção da amostragem realizada em novembro/2000 em P1, com valor de $0,142 \text{ mg.L}^{-1}$.

O metal chumbo não foi detectado no mês de novembro/2000 em P1, P3 e P4, porém, em todas as demais coletas foram encontrados valores acima dos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 ($0,010 \text{ mg.L}^{-1}$), utilizado como referência para este metal.

Para os metais cobre e zinco não foram detectados valores acima da concentração permitida de $0,090 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,180 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, com exceção da concentração de $0,111 \text{ mg.L}^{-1}$ para o metal cobre no mês de maio/2000 para P3.

Com exceção do mês de novembro/2000 para P3, onde o metal cádmio não foi detectado, todos os pontos demonstraram uma concentração acima de $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$, valor de referência estabelecido no CONAMA, variando entre $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ (P1 e P2 para novembro/2000) e $0,022 \text{ mg.L}^{-1}$ (P4 para novembro/2000).

A Figura 8 apresenta os resultados dos valores de risco obtidos para a Linha de Evidência Química a partir da integração dos dados de concentração dos seis metais nos quatro pontos propostos para os meses de maio, agosto e novembro do ano 2000, seguindo os cálculos baseados na metodologia de Jensen e Mesman (2006), como demonstrado na Tabela A1, do Anexo A, em que a linha denominada *Coleta* demonstra as concentrações de cada metal determinadas em laboratório para as coletas nos três períodos e linha denominada *Referência* demonstra os valores do padrão CONAMA.

Para as variáveis analisadas, a atribuição de pesos se deu de acordo com o risco que altas concentrações de determinado metal causam ao sistema aquático, atribuindo-se o peso máximo (1,0) aos metais tóxicos chumbo, cobre, zinco e cádmio, sendo que os valores referentes aos metais ferro e manganês foram multiplicados pelo fator de 0,5.

Em todas as análises realizadas, nota-se que o valor encontrado está acima de 0,5, demonstrando que, em todos os pontos de coleta, o risco encontrado é alto e que todos os pontos são afetados pelos efluentes industriais lançados a montante do reservatório.

Para P2 e P4, no mês de maio/2000, foram encontrados valores de risco menores aos encontrados em novembro/2000, demonstrando um aumento da degradação relacionada às variáveis químicas ao longo do ano nestes locais de amostragem. Resultados diferentes foram obtidos em P3, onde se registrou risco mais elevado em agosto/2000 (0,911) e menor em novembro/2000 (0,560) e em P1, onde os três períodos tiveram pouca variação (entre 0,902 em novembro/2000 e 0,914 em agosto/2000).

As altas concentrações (entre $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ em agosto/2000 para P1 e $0,022 \text{ mg.L}^{-1}$ em novembro/2000 para P4) encontradas para o metal cádmio elevaram o valor de risco ecológico para esta linha de evidência em todos os pontos de coleta, implicando em um valor de 0,982, próximo ao risco máximo (1,0) no mês de novembro/2000 para P4.

No mês de novembro/2000 não foi detectada a presença dos metais chumbo e cádmio para P1, P3 e P4 levando a uma menor relevância desses metais durante as análises de risco.

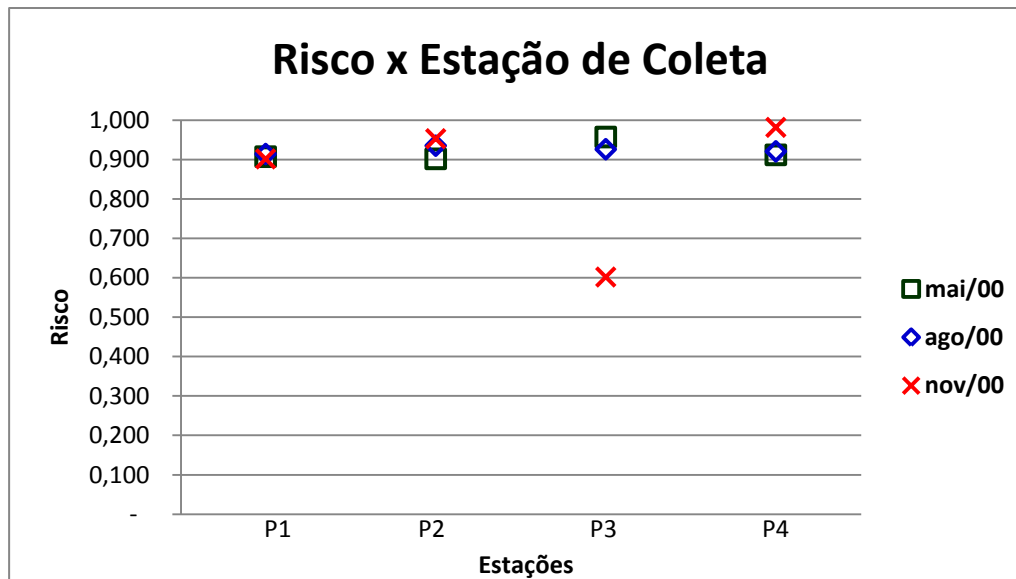


Figura 8 - Risco associado à Linha de Evidência Química para os quatro pontos de coleta e três períodos de análise no reservatório de Salto Grande.

5.1.3.2. Linha de Evidência Ecológica

Todos os valores encontrados para as variáveis condutividade, fósforo total e clorofila *a* estão acima de seus respectivos valores de referência de $6,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, $0,030 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e $30,00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente, evidenciando uma possível alteração da qualidade da água do reservatório. Para a condutividade nota-se que na amostragem realizada no mês de novembro/2000 foram registrados valores entre $356,90 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (P4) e $421,20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (P1), superiores aos demais meses de análise.

Os valores encontrados referentes à concentração de nitrato, que variaram entre $0,65 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (P4 para novembro/2000) e $1,28 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (P2 para maio/2000), estão abaixo do valor de referência de $10,00 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Para concentração de oxigênio dissolvido foram registrados valores abaixo da referência ($5,00 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) para todos os pontos de coleta no mês de maio/2000, sendo que tais resultados variaram entre $1,378 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (P1) e $3,343 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (P2). Para este mesmo parâmetro também foram encontrados valores acima da referência no mês de novembro/2000, com máximo de $13,766 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em P1.

Para o nitrogênio orgânico total, o valor de referência de $2,180 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ não foi superado em nenhum ponto de coleta no mês de maio/2000, com valor máximo atingido de $1,660 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (P3). Para o mês de agosto/2000, o limite foi superado apenas em P3, onde a concentração de $3,325 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ foi obtida. No mês de novembro/2000, todos os valores encontrados superaram o valor padrão, variando entre $6,180$ (P4) e $10,265$ (P2).

O pH considerado ótimo para um rio de Classe 2 deve variar na faixa de 6 a 9, verificando-se que os resultados obtidos no mês de novembro/2000 para P1 e P2, de

9,346 e 9,038, respectivamente, excedem o valor máximo desta faixa. Para efeito dos cálculos, o valor médio de pH de 7,5 foi utilizado.

Na Figura 9 são apresentados os resultados obtidos para a Linha de Evidência Ecológica a partir da integração dos dados encontrados para oito variáveis nos quatro pontos propostos nos meses de maio, agosto e novembro do ano 2000, seguindo os cálculos baseados na metodologia de Jensen e Mesman (2006), como demonstrado na Tabela A2, do Anexo A, em que a linha denominada *Coleta* demonstra os valores encontrados para cada parâmetro.

A atribuição de pesos, para todas as variáveis, necessária na análise dessa linha de evidência, segue os mesmos critérios da linha de evidência química. Assim, peso 1 é atribuído aos parâmetros pH, condutividade, oxigênio dissolvido e concentração de fósforo e de nitrogênio amoniacal, variáveis de grande importância ambiental em que pequenas alterações podem gerar um grande impacto ao sistema aquático. Peso 0,8 foi atribuído ao nitrato e à temperatura, parâmetros de grande importância ambiental, mas que o meio possui certa resistência a pequenas variações. Peso de 0,5 foi atribuído à clorofila a, variável de menor importância ambiental no meio analisado.

A variação dos valores encontrados para o risco da Linha de Evidência Ecológica foi de 0,549 (P3 para maio/2000) a 0,765 (P2 para novembro/2000), valores que demonstram um alto risco para esta linha de evidência em todo o reservatório durante todo o período de análise.

Em todos os quatro pontos de coleta verificou-se que, no mês de maio/2000, foi obtido o menor risco (com valor de 0,662, 0,642, 0,549 e 0,616, respectivamente), sendo que em novembro/2000, todos os pontos apresentaram um maior risco.

Os altos valores encontrados para as variáveis condutividade e fósforo total, e os baixos valores do parâmetro nitrato em relação a seus respectivos valores de referência retirados da Resolução CONAMA 357/2005, elevaram o risco em todas as análises.

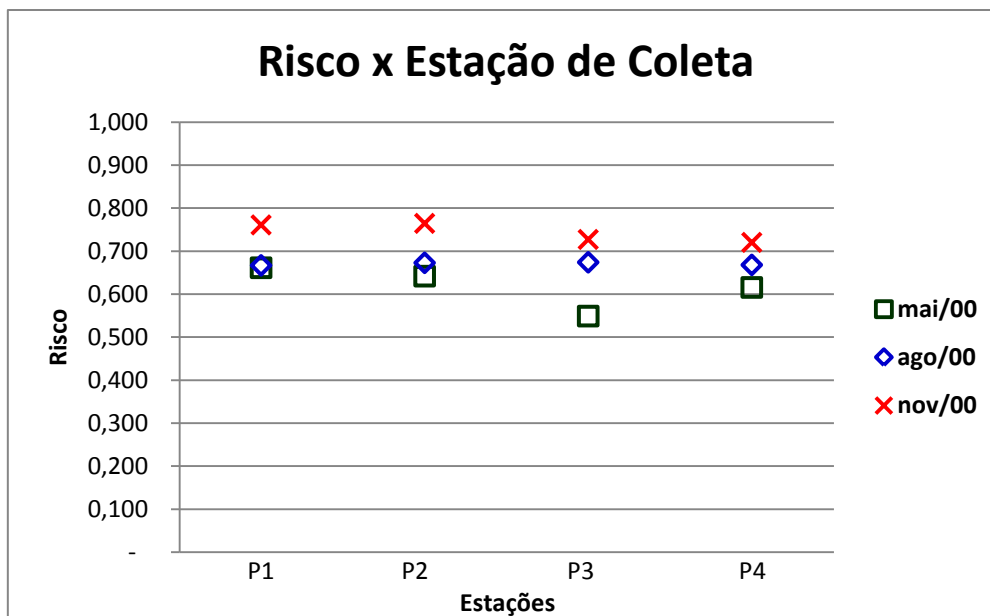


Figura 9 - Risco associado à Linha de Evidência Ecológica para os quatro pontos de coleta e três períodos de análise no reservatório de Salto Grande.

5.1.3.3. Linha de Evidência Ecotoxicológica

A avaliação dos dados de imobilidade (em porcentagem) demonstrou uma grande variação de resultados para cada período analisado, não havendo nenhum organismo imóvel em nenhum dos pontos de amostragem para o mês de maio/2000.

A porcentagem de 6,66% de organismos imóveis nos testes referentes ao mês de novembro/2000 para P1 e ao mês de agosto/2000 para P2 foi menor do que a de 13,33% de imobilidade, apresentada como valor de referência a partir dos dados retirados da represa do Lobo, não demonstrando toxicidade para o organismo testado nos períodos amostrados. Para o mês de agosto/2000, em P3 e P4, encontrou-se um valor máximo de 100% de imobilidade para o organismo teste, demonstrando uma situação desfavorável ao mesmo. O valor de imobilidade máxima indica um risco ecológico máximo para a LoE Ecotoxicológica neste ponto.

Na Figura 10 são demonstrados os resultados obtidos para a Linha de Evidência Ecotoxicológica a partir dos dados acerca do ensaio de toxicidade nos quatro pontos de coleta propostos, para os meses de maio, agosto e novembro do ano 2000, seguindo os cálculos baseados na metodologia de Jensen e Mesman (2006), apresentado na Tabela A3, do Anexo A, em que a linha denominada *Dados mortandade (%)* demonstra a porcentagem de organismos imóveis/mortos para cada ponto de amostragem em cada período.

O risco encontrado para a Linha de Evidência Ecotoxicológica possui uma ampla faixa de resultados, contando com valores de risco nulos, referentes aos valores em que o número de indivíduos imóveis foi igual ou inferior ao do local de

referência e com valores de risco máximo, em que todos os indivíduos da amostra ficaram imóveis ao final do experimento.

Em todos os pontos amostrados não foram identificados riscos ligados a essa LoE para o mês de maio/2000, entretanto, para o mês de agosto/2000, enquanto para P1 e P2 nenhum risco foi encontrado, para P3 e P4 foi apresentado risco máximo (1,000).

Em P1 não foi apresentado nenhum valor de risco, evidenciando que, nos períodos amostrados, as amostras ambientais não apresentaram toxicidade para o organismo teste, fator que não se repetiu nos pontos de coleta seguintes.

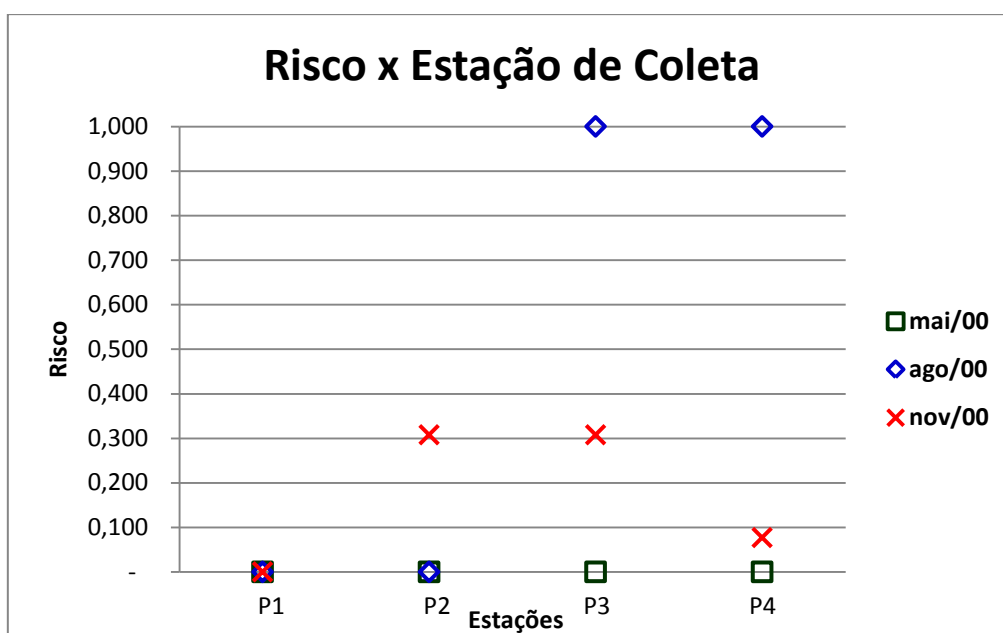


Figura 10 - Risco associado à Linha de Evidência Ecotoxicológica para os quatro pontos de coleta e três períodos de análise no reservatório de Salto Grande.

5.1.3.4. Integração das Linhas de Evidência

Na Figura 11 é apresentado o resultado da análise de risco integrada das três linhas de evidência, obtido a partir dos dados nos quatro pontos de coleta propostos para os meses de maio, agosto e novembro do ano 2000, seguindo os cálculos baseados na metodologia de Jensen e Mesman (2006), apresentados na Tabela A4 do Anexo A.

Todos os resultados encontrados para a avaliação de risco ecológico do Reservatório de Salto Grade apresentaram um valor final superior a 0,5, indicando que em todos os pontos amostrados e para todos os períodos analisados o reservatório possui alto ou altíssimo risco e deve sofrer intervenções.

O mês de maio/2000 foi reconhecido como período de menor risco do reservatório em três diferentes pontos, com risco de 0,685 para P1; 0,673 P2 e 0,677

para P4, indicando um aumento do risco no reservatório com o tempo. No mês de agosto/2000 verificou-se um valor de risco muito próximo ou igual ao valor máximo (0,999) para P3 (com risco de 0,999) e P4 (risco de 1,000), o que se deve ao fator de risco relacionado à LoE Ecotoxicológica, que apresentou valor máximo.

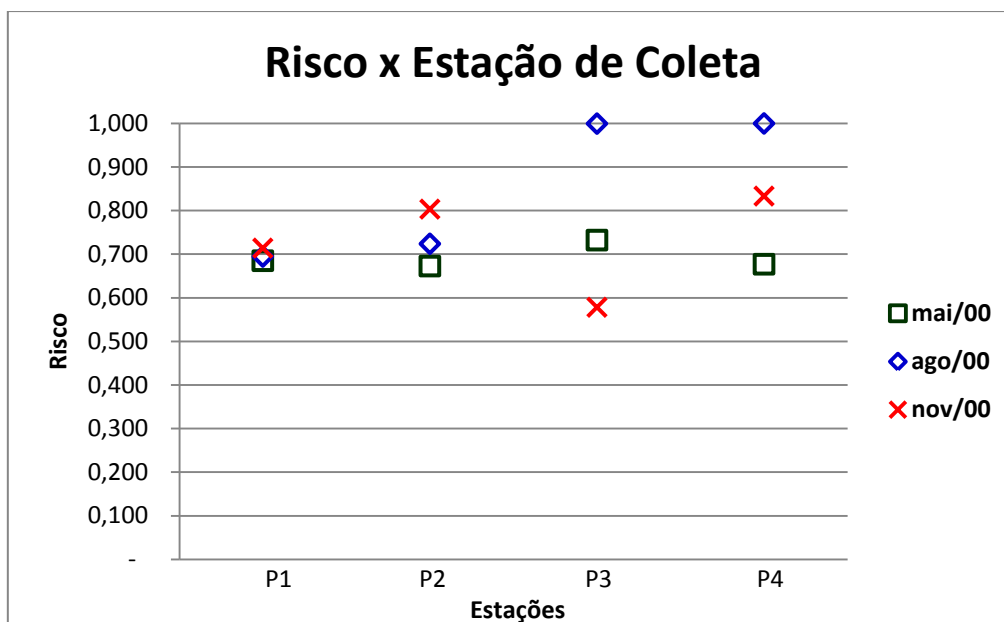


Figura 11 - Risco Integrado associado às três Linhas de Evidência para os quatro pontos de coleta e três períodos de análise no reservatório de Salto Grande.

5.1.4. Discussão

A utilização da Represa do Lobo como local de referência para as linhas de evidência química e ecotoxicológica demonstrou-se uma alternativa viável devido à falta de um local livre de contaminação nas proximidades do Reservatório de Salto Grande. Além disso, o ecossistema de referência é caracterizado como um sistema lêntico, próximo à área urbana e com os mesmos usos múltiplos determinados para o reservatório de Salto Grande, diferenciando-se quanto a magnitude e extensão dos impactos, principalmente aqueles relacionados às indústrias. Porém, para os metais chumbo e zinco e para as determinações da imobilidade de *D. similis* nos meses de agosto e novembro de 2000, os valores de referência foram superiores a alguns dos valores no reservatório, sendo considerado um risco nulo (igual a 0,000) para estas variáveis nos referidos pontos e períodos coletados. Tal fator indica que a represa do Lobo constitui um sistema que possui uma maior concentração desses metais pela natureza de seu solo ou que haja alguma fonte de poluição no local de referência, tais como as provenientes das culturas agrícolas do entorno ou de emissões clandestinas de esgotos domésticos como identificado por Sanchez (2012). Logo, mesmo sendo

viável a utilização de um sistema semelhante, o local de referência ideal deveria ser encontrado no próprio sistema analisado.

A não existência de valores legais de referência para sistemas lênticos também demonstra uma possível variação nos resultados pela evidente diferença de comportamento de sistemas lóticos e lênticos, com a menor depuração dos poluentes em sistemas em que não há constante movimentação de água.

Para a Linha de Evidência Química, as altas concentrações de alguns metais como cádmio, cromo, cobre, chumbo e zinco, podem ser explicadas devido à existência dos efluentes lançados pelo polo petroquímico de Paulínia a montante do reservatório, como evidenciado em Hackbarth (2014).

De acordo com Massabni (2006), os metais ferro, zinco e cobre são essenciais ao organismo humano, auxiliando em algumas de suas funções vitais, o que pode justificar a liberação de uma maior concentração desses metais para rios de Classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005. Porém, mesmo para estes metais, altas concentrações, como a encontrada para o elemento ferro em P1 e para o elemento cobre em P3, pode ser nociva, podendo ser um fator agravante para a toxicidade determinada nesses pontos.

Os efluentes industriais podem também ser a principal causa dos altos valores encontrados para os parâmetros condutividade (pela grande quantidade de íons dissolvidos descartados no efluente dessas indústrias) e fósforo total, utilizados para a linha de evidência ecológica. A grande quantidade de fósforo, por sua vez, indica o motivo do avançado processo de eutrofização das águas do reservatório, o que também pode ser visto no presente trabalho através da alta quantidade de clorofila a determinada, problema que pode acarretar na perda de biodiversidade do ecossistema (BRAGA et al., 2005).

Na Linha de Evidência Ecotoxicológica foi utilizada análise de um único organismo teste, o que acarretou em valores discrepantes de imobilidade entre os diferentes pontos e períodos de análise pela possível sensibilidade que o organismo pode apresentar a partir da variação de um único fator. Para o mês de agosto/2000 nota-se que em P3 e P4 foram detectados valores de imobilidade máxima para o organismo teste, demonstrando que pode haver um despejo de efluente doméstico ou industrial não identificado no segundo e/ou no terceiro compartimento do reservatório, o que acarretou em uma maior toxicidade para os organismos neste período. Além disso, em P1 foram obtidos valores relativamente inferiores aos demais, demonstrando que, além de não haver depuração dos poluentes no eixo longitudinal do reservatório, há o aporte de outras fontes pontuais e difusas dentro do mesmo.

A metodologia utilizada fez com que o valor de risco máximo encontrado para uma das linhas de evidência no mês de agosto/2000, em P3 e P4, gerasse uma tendência para um risco integrado máximo nestes pontos de coleta, demonstrando a importância que o método dá aos altos valores encontrados em cada análise, fator vantajoso quando nota-se que um elemento pode se apresentar gravemente degradado, mesmo quando somente uma linha de evidência apresenta alto risco.

Em todos os pontos amostrados, foi encontrado um risco ecológico superior a 0,5, demonstrando que efeitos ecológicos adversos ocorrem em todo o ecossistema. O gradual aumento do risco nos pontos amostrados na direção de montante a jusante demonstra que, ao longo do reservatório, novas fontes de poluição, como as difusas provenientes das intensas monoculturas do entorno, podem estar atuando para o aumento do risco.

A metodologia utilizada mostrou-se eficiente, evidenciando valores de risco compatíveis com a descrição da forte contaminação do reservatório para o ano 2000. O alto risco encontrado para o ano 2000 indica que, desde aquele ano, são necessárias intervenções para a eliminação das fontes poluidoras. Além disso, a observação atual da área indicou que os problemas encontrados se agravaram podendo os riscos ecológicos relacionados terem se intensificado.

5.2. Estudo de caso 2 - Município de Bom Repouso, MG

5.2.1. Caracterização da Área

A bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu está localizada dentro da região sudoeste do Estado de Minas Gerais e nordeste do estado de São Paulo, entre os paralelos 20° 55' e 22° 43' e entre os meridianos 46° 10' e 48° 26' (IBGE, 1982 *apud* BRIGANTE e ESPÍNDOLA, 2003). A área de drenagem total da bacia é de 18.939 km², sendo 15.040 km² localizados no estado de São Paulo, correspondente a 79,41% do total e 3.899 no estado de Minas Gerais, 20,59% da área total de drenagem da bacia (CBH MOGI, 2008).

Os corpos de água da bacia do rio Mogi-Guaçu e de suas sub-bacias são enquadrados como Classe 2, de acordo com a Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005 (CBH MOGI, 2008), sendo suas águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; para a proteção das comunidades aquáticas; para recreação de contato primário; para irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques e campos de esporte e lazer; para a aquicultura e a atividade de pesca.

A unidade de gestão da bacia hidrográfica para o estado de São Paulo é a UGHI 09 - Mogi-Guaçu, que conta com 59 municípios, sendo 27 totalmente contidos

na bacia. Para o estado de Minas Gerais a unidade de gestão da bacia é a GD 6 - Mogi-Guaçu/Pardo, que contém 31 municípios, dos quais 20 possuem sede dentro da área abrangida (CBH MOGI, 2008; IPT, 2008). Ambas as unidades estão contidas na bacia hidrográfica do rio Grande, cuja localização é apresentada na Figura 12.

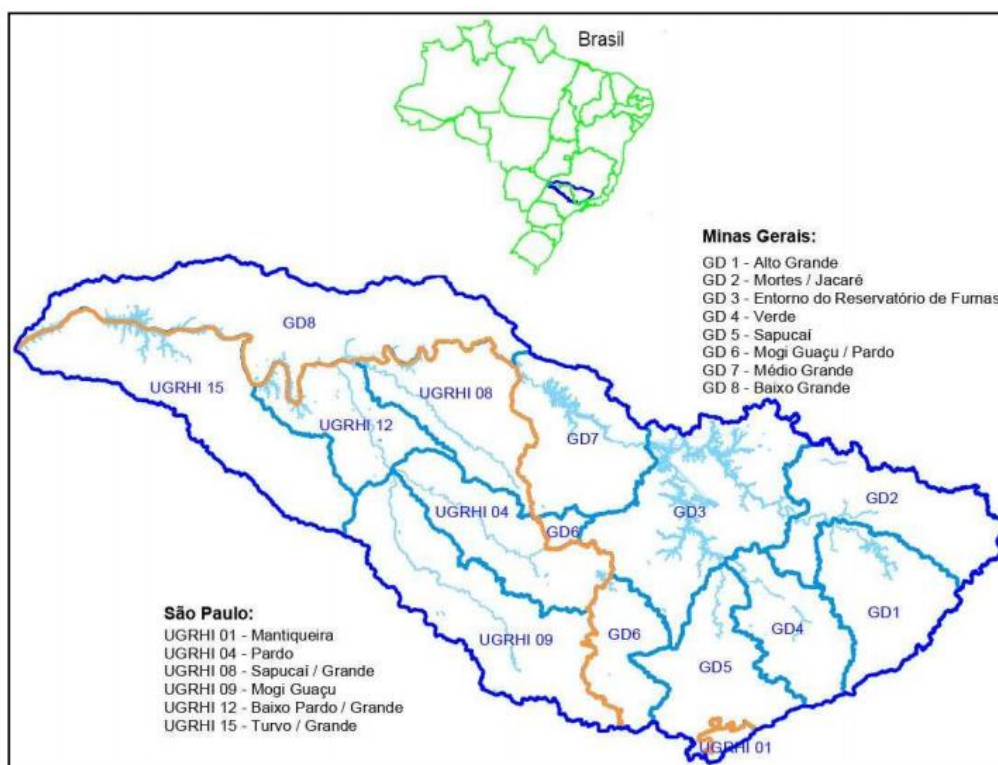


Figura 12 - Unidades de gestão da bacia Hidrográfica do Rio Grande. Fonte: IPT 2008.

Dentro do GD 6 localiza-se a bacia hidrográfica de montante do rio Mogi-Guaçu, com área de 2.650 km², que abriga as microbacias do rio Mogi-Guaçu, do rio Espreado e do rio do Peixe (REZENDE, 2009).

Brigante et al., (2007) ressaltam que dentro da bacia de montante, o uso inadequado da terra é recorrente e que problemas como o esgotamento do solo, soterramento de nascentes, assoreamento, contaminação de córregos e supressão de matas nativas alteram significativamente a quantidade e qualidade da água, que é utilizada pela comunidade para os mais diversos fins.

O município de Bom Repouso (MG), integrante da microbacia do rio Mogi-Guaçu, foi o local escolhido para a realização da ARE devido a sua grande importância hídrica a toda sua bacia hidrográfica, possuindo 993 nascentes catalogadas (CUNHA, 2009).

Com área territorial de 229.845 km² e população estimada de 10.759 habitantes para o ano de 2013 (IBGE, 2010), Bom Repouso localiza-se em uma região de elevada altitude e grande quantidade de encostas com declividade maior que 45%,

mas que, em sua maioria, não apresentam vegetação nativa (BRIGANTE et al, 2007). A localização de Bom Repouso é demonstrada na Figura 13.



Figura 13 - Localização da bacia hidrográfica de montante do rio Mogi-Guaçu, com destaque ao município de Bom Repouso. Fonte: Hanai (2009).

A agricultura, a partir do cultivo do morango e da batata, é a principal atividade econômica do município (Figura 14). Por causa do baixo retorno financeiro com a produção de batata da região, esta cultura, que é cultivada desde a década de 60, vem sendo gradativamente substituída pelo cultivo de morango (ELER et al., 2003).

A utilização de agrotóxicos nessas duas culturas é feita de modo intensivo em toda a região. Brigante et al., (2007) citam que contaminações de agricultores por agrotóxicos e a propagação de doenças de veiculação hídrica na comunidade são comuns, assim como autuações por conflitos pelo uso dos recursos hídricos.



Figura 14 - Cultivo de morango (esquerda) e de batata (direita) em Bom Repouso. Fonte: Arquivo pessoal (2014).

Demonstrada a fragilidade dos sistemas hídricos da bacia de montante do rio Mogi-Guaçu e motivados pela necessidade de um gerenciamento integrado da bacia hidrográfica, de modo a prevenir impactos negativos sobre o ambiente e a qualidade de vida da comunidade, na década de 2000 foi realizado o Projeto Mogi-Guaçu, que buscou atuar em medidas direcionadas aos setores social, econômico (agricultura, piscicultura e turismo) e de saúde pública a partir de uma série de medidas compiladas no livro: **Projeto Mogi-Guaçu: Desenvolvendo Ações Socioambientais** (ESPÍNDOLA e BRIGANTE, 2007).

No ano de 2014 novos esforços para entender os efeitos causados pela utilização dos agrotóxicos na região, tanto no compartimento aquático quanto terrestre, estão sendo realizados por parte dos pesquisadores e alunos do Núcleo de Ecotoxicologia e Ecologia Aplicada (NEEA) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), USP.





5.2.2. Estações de Coleta e Períodos de Amostragem

A aplicação da Avaliação de Risco Ecológico do município de Bom Repouso, MG, foi dividida em duas fases. A primeira conta com a determinação do risco para o ano de 2008, a partir de coletas realizadas entre os dias 23 e 26 de janeiro e 9 e 11 de julho, por Rezende (2009), descrito na dissertação denominada "*Avaliação das Águas de Abastecimento da Área Rural do Município de Bom Repouso, MG*" e que viabilizam uma comparação entre os períodos chuvoso e de seca na região, durante aquele ano. A segunda fase do trabalho conta com a avaliação de risco atual da área, com coletas realizadas nos dias 26 e 27 de abril de 2014, permitindo uma comparação entre os diferentes anos de amostragem e demonstrando a evolução do risco ecológico no município.

O trabalho de Rezende (2009) teve, nos dois períodos amostrados, 34 estações de coleta, determinados de forma a atender os diversos tipos de uso e ocupação do solo e das águas das nascentes. Das 34 estações, foram escolhidas 5 para o presente trabalho, considerando os seguintes critérios: I) Coleta nos dois

períodos amostrados em Rezende (2009); II) Características do entorno; III) Diferentes usos da água e IV) Facilidade de acesso. A Tabela 2 apresenta as estações de coleta, com uma breve descrição, baseada nas observações de campo.

Tabela 2: Caracterização geral das estações de coleta em Bom Repouso, MG.

Estação de Coleta	Características Gerais
<p>P1</p> 	<p>Bairro: Garcias</p> <p>Nascente difusa em região com significativa mata ciliar, com pasto e cultivo de batata e morango na parte inferior do terreno.</p>
<p>P2</p> 	<p>Bairro: Garcias</p> <p>Água represada no alto de um morro, proveniente de uma nascente que chega através de uma tubulação, cercada predominantemente por pasto, com antiga plantação de morango e batata logo abaixo.</p>
<p>P3</p> 	<p>Bairro: Centro</p> <p>Torneira em área central da cidade. Localizada em edifício público vizinho de um grande terreno baldio.</p>
<p>P4</p> 	<p>Bairro: Damásios</p> <p>Caixa d'água, com nível muito baixo, proveniente de nascente próxima, com entorno bastante preservado.</p>

P5



Bairro: Damásios

Torneira localizada em residência particular, com água proveniente de nascente próxima.

As variáveis utilizadas nesta pesquisa foram selecionadas dentre àquelas apresentadas no estudo de Rezende (2009) e que podem apresentar desvios aos valores padrão a partir da contaminação gerada pela utilização dos mais diversos tipos de agrotóxicos no entorno das regiões amostradas. Para a Linha de Evidência Química, os parâmetros utilizados foram a concentração total dos metais ferro, manganês, chumbo, cobre, zinco, cádmio e cromo. Para a Linha de Evidência Ecológica o equacionamento de risco contou com as variáveis pH, condutividade, concentrações de oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, nitrogênio orgânico total e fósforo total.

A medição dos parâmetros pH, condutividade e oxigênio dissolvido, além da temperatura da água, foram medidos no local, enquanto para as demais variáveis foram coletadas amostras de água de todos os pontos, que foram levadas para o Núcleo de Ecotoxicologia e Ecologia Aplicada (NEEA - CHREA, EESC - USP), onde foram analisadas seguindo metodologia e referência descritas na Tabela 3.

Os parâmetros nitrato, nitrito, nitrogênio orgânico total e fósforo total não foram determinados na análise atual devido a um problema com equipamento de medição, tendo a Linha de Evidência Ecológica se limitado aos parâmetros pH, condutividade e oxigênio dissolvido. Para possibilitar a comparação entre as análises retrospectiva e atual, uma análise retrospectiva adaptada da LoE ecológica foi realizada, contendo apenas as três variáveis também utilizadas na análise com dados de 2014.

Para os cálculos da Linha de Evidência Ecotoxicológica foram considerados dois ensaios: o ensaio agudo para a espécie *Daphnia similis*, tendo como parâmetro de avaliação (*endpoint*) a mortalidade dos organismos, conforme metodologia definida na norma ABNT NBR 12.713; e o ensaio crônico para a espécie *Ceriodaphnia dubia*, tendo como *endpoint* a sobrevivência e a reprodução no período de oito dias (período em que o organismo adulto fêmea leva, em média, para se reproduzir assexuadamente três vezes), conforme metodologia apresentada na Norma ABNT NBR13.373. Na análise atual, a verificação de quais estações obtiveram resultados

estatisticamente diferentes do controle foi realizada segundo o teste paramétrico ANOVA, utilizando o programa estatístico *Sigma Stat* (SPSS, 1997).

Tabela 3: Metodologias e referências utilizadas nas análises das variáveis químicas, físicas e biológicas da água para determinação do risco do Município de Bom Repouso.

Variáveis	Metodologia/Referência
Metais Totais (Fe, Mn, Pb, Cu, Zi, Cd e Cr - mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria / APHA (1995)
pH	Multi-sensor Horiba U-10
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	Multi-sensor Horiba U-10
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	Multi-sensor Horiba U-10
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria / APHA (1995)
Nitrato (mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria / Mackereth et al. (1978)
Nitrito (µg.L ⁻¹)	Espectrofotometria / Mackereth et al. (1978)
Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria / APHA (1995)

Valores de referência de concentração para os contaminantes no local da análise são necessários para a avaliação dos riscos para as linhas de evidência química e ecotoxicológica. Dentre os pontos amostrados, P1 e P4 foram àqueles que apresentaram um entorno preservado, P1, no entanto, por estar em alto de morro, não apresenta contaminação por fontes difusas, características que o determinaram como ponto de referência para o atual trabalho. Os resultados encontrados ratificaram a escolha deste ponto como referencial.

A correção dos valores encontrados foi realizada a partir de valores de referência de qualidade para cada contaminante, definidos a partir da Resolução CONAMA N° 357, para rios enquadrados na Classe 2, como o Rio Mogi.

5.2.3. Resultados

5.2.3.1. Análise Retrospectiva

5.2.3.1.1. Linha de Evidência Química

A concentração de metais na água provém, normalmente, de despejos industriais (PIVELI e KATO, 2005). Porém, a ação de agrotóxicos inorgânicos no solo ou mesmo características naturais da região podem ocasionar a determinação desses metais em corpos d'água. A não ocorrência da concentração dos metais ferro, manganês, chumbo, cobre, zinco, cádmio e cobalto no local de referência (P1) para o mês de janeiro/2008 e de nenhum dos metais analisados para o mês de julho/2008,

demonstra que este ponto está naturalmente livre da contaminação inorgânica. Porém, a concentração de cromo neste local para o mês de janeiro/2008 ($0,019 \text{ mg.L}^{-1}$), está acima do permitido para rios de Classe 2, indicando que a contaminação por este metal chega até os pontos de maior altitude do município.

Para as variáveis analisadas a atribuição de pesos se deu de acordo com o risco que altas concentrações dos metal causam ao sistema aquático, atribuindo-se o peso máximo (1,0) aos metais tóxicos chumbo, cobre, cádmio, e cromo, sendo que os valores referentes aos metais ferro, manganês e zinco foram multiplicados pelo fator 0,5.

Em ambos os períodos, os metais manganês, chumbo, cobre e cádmio não foram encontrados em nenhum dos pontos de amostragem. Para janeiro/2008 também não foi detectada contaminação pelo metal zinco em nenhum dos pontos, já no mês de julho/2008 a concentração dos metais ferro e cromo não foi determinada.

O metal ferro, em janeiro/2008 apresentou uma concentração de $11,09 \text{ mg.L}^{-1}$ para P4, demonstrando uma contaminação grave desse metal, estando muito acima do valor CONAMA de $0,300 \text{ mg.L}^{-1}$ para rios de Classe 2. A coleta em todos os pontos desse período também demonstrou a presença do metal cromo acima do valor padrão ($0,001 \text{ mg.L}^{-1}$), estando as concentrações encontradas muito próximas entre si, variando entre $0,018 \text{ mg.L}^{-1}$ (P3 e P5) e $0,024 \text{ mg.L}^{-1}$ (P4).

Para o mês de julho/2008, o metal zinco foi determinado com uma concentração de $0,0024 \text{ mg.L}^{-1}$ para P2, $0,0021 \text{ mg.L}^{-1}$ para P4 e $0,0064 \text{ mg.L}^{-1}$ para P5. Todos esses valores estão abaixo do valor definido como padrão de referência para rios de Classe 2 ($0,180 \text{ mg.L}^{-1}$), não afetando os usos múltiplos definidos para corpos d'água dessa classe.

A Figura 15 apresenta os valores integrados para a Linha de Evidência Química. Nota-se que em P1 foi obtido um valor de risco igual a 0,000, já que foi utilizado como referência para os demais pontos. No mês de julho/2008 obteve-se valores baixos de risco em todos os pontos, determinados somente pela concentração de zinco detectada, com valores de 0,007 para P2; 0,000 para P3, 0,006 para P4 e 0,017 para P5. A alta concentração do metal ferro elevou o risco para P4 em janeiro/2008, atingindo o valor de 0,959. Para estes mesmo mês, o risco encontrado para P2 (0,167) foi determinado pela comparação da concentração do metal cromo com o ponto referencial. A concentração de cromo, em P3 e P5 foi menor do que a do ponto de referência, assim, o risco ligado a esse metal foi considerado como 0,000.

A concentração de todos os metais determinada a partir das amostras coletadas (Coleta), o valor CONAMA para rios de Classe 2 para cada metal

(Referência) e o cálculo do risco para a análise retrospectiva encontram-se na Tabela B1, do Anexo B.

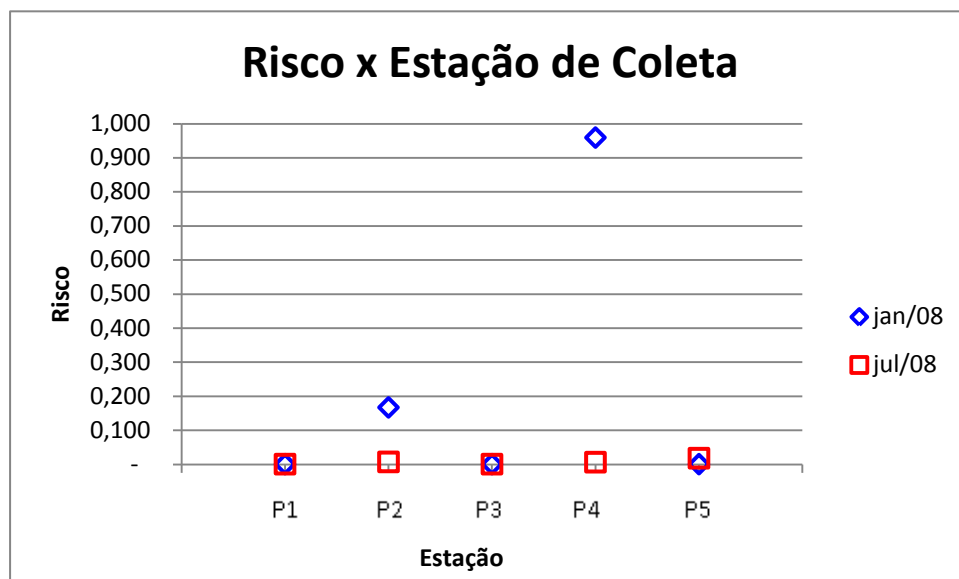


Figura 15 - Risco associado à Linha de Evidência Química para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.

5.2.3.1.2. Linha de Evidência Ecológica

Os resultados para as variáveis da Linha de Evidência Ecológica demonstraram-se distantes dos padrões recomendados pela resolução CONAMA Nº 357/2005, estando, por vezes, muito superiores ou muito inferiores ao estabelecido. Pela não utilização de valores a partir de um ponto de referência, o método BKX indica risco tanto para valores inferiores quanto superiores ao padrão CONAMA.

Para o parâmetro pH, a resolução CONAMA 357/2005 define como padrão valores entre 6 e 9. Para os pontos amostrados, somente em P4 um valor fora desse intervalo foi encontrado, com potencial hidrogeniônico de 5,70 para o mês de janeiro/2008 e de 5,38 para julho/2008. Para efeito de cálculo o valor de referência deste parâmetro foi considerado como o valor médio de 7,5, tal como utilizado em Sanchez (2012).

Todos os valores determinados para a condutividade estiveram acima da referência de $6,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, variando entre $12,00 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (P1 para janeiro/2008) e $62,67 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (P3 para janeiro/2008). Para o parâmetro oxigênio dissolvido, a referência de $5,0 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ só não foi superada em janeiro/2008 para P3 ($3,070 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e P4 ($4,820 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), tendo as demais amostragens variado entre $5,64 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (P3 para julho/2008) e $9,42 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (P2 para janeiro/2008).

Os valores determinados para os parâmetros nitrito e nitrato estão abaixo do padrão de $10 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para o nitrato e de $1000 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ para o nitrito, tendo o primeiro

variado entre 0,018 mg.L⁻¹ (P4 para julho/2008) e 0,248 mg.L⁻¹ (P3 para janeiro/2008) e o segundo variado entre 1,85 µg.L⁻¹ (P4 para julho/2008) e 4,00 µg.L⁻¹ (P1 para julho/2008).

O parâmetro nitrogênio orgânico total só teve seu padrão de 2,180 mg.L⁻¹ superado em P2 para o mês de julho/2008, o qual apresentou uma concentração de 0,110 mg.L⁻¹ superior ao estabelecido. O valor CONAMA de 0,100 mg.L⁻¹ para o fósforo total foi superado em P4 para o mês de janeiro/2008, apresentando valor 4 vezes acima do permitido e para P2 em julho/2008, com valor de 0,317 mg.L⁻¹, mais de três vezes o valor permitido.

Os valores integrados para a Linha de Evidência Ecológica são demonstrados na Figura 16, verificando-se que esta linha de evidência possui risco altíssimo para quatro dos cinco pontos amostrados em janeiro/2008 (P2 com 0,791; P3 com 0,810; P4 com 0,759 e P5 com 0,802), e para três dos pontos em julho/2008, tendo P3 o risco de 0,802; P4 o risco de 0,760 e P5 o de 0,805. O valor encontrado para cada parâmetro em cada coleta realizada (Coleta), seu valor padrão para rios de Classe 2 (Referência) e o cálculo do risco para a análise retrospectiva encontram-se na Tabela B2, do Anexo B.

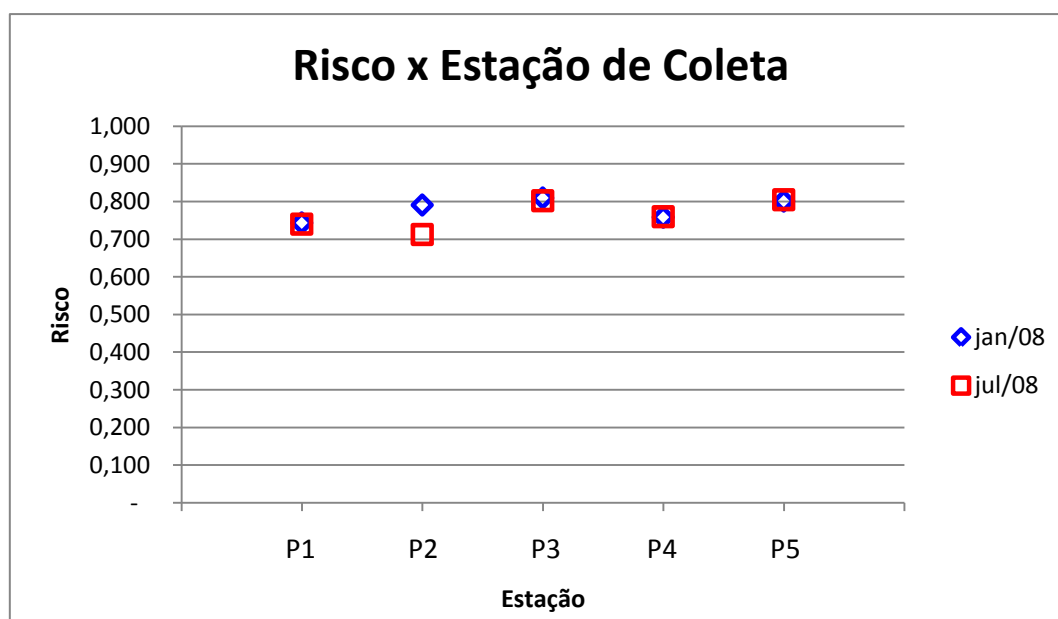


Figura 16 - Risco associado à Linha de Evidência Ecológica para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.

- ***Linha de Evidência Ecológica Adaptada***

Para possibilitar a comparação com a análise de abril/2014 do município de Bom Repouso, MG, uma vez que nela não foi possível a medição de todos os parâmetros anteriormente analisados, foi realizado o cálculo da LoE Ecológica

utilizando somente três dos parâmetros limnológicos, sendo eles o pH, a condutividade e o oxigênio dissolvido. O gráfico contendo o risco adaptado dos cinco pontos de coleta nos períodos de janeiro/2008 e julho/2008 para a LoE Ecológica encontra-se na Figura 17, o equacionamento de risco contendo o valor das análises para cada variável (Coleta) para a referência CONAMA para rios de Classe 2 (Referência) encontra-se na Tabela B3 do Anexo B.

Como demonstrado anteriormente, para as três variáveis foram obtidos valores que se mantiveram fora dos limites estabelecidos, sendo que para o pH, foi apresentado o valor mínimo de 5,380 para julho/2008 em P4; para a condutividade o valor máximo foi de 62,67 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para janeiro/2008 em P3 e para o oxigênio dissolvido o valor máximo de 7,780 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para janeiro/2008 em P1.

O risco associado a essa adaptação variou entre moderado e alto, tendo o risco moderado sido alcançado em oito das dez análises, variando entre 0,292 para P4 em janeiro/2008 e 0,478 para P2 em janeiro/2008. O risco considerado alto foi encontrado em P3 nos dois períodos, com valor de 0,623 para janeiro/2008 e de 0,555 para julho/2008.

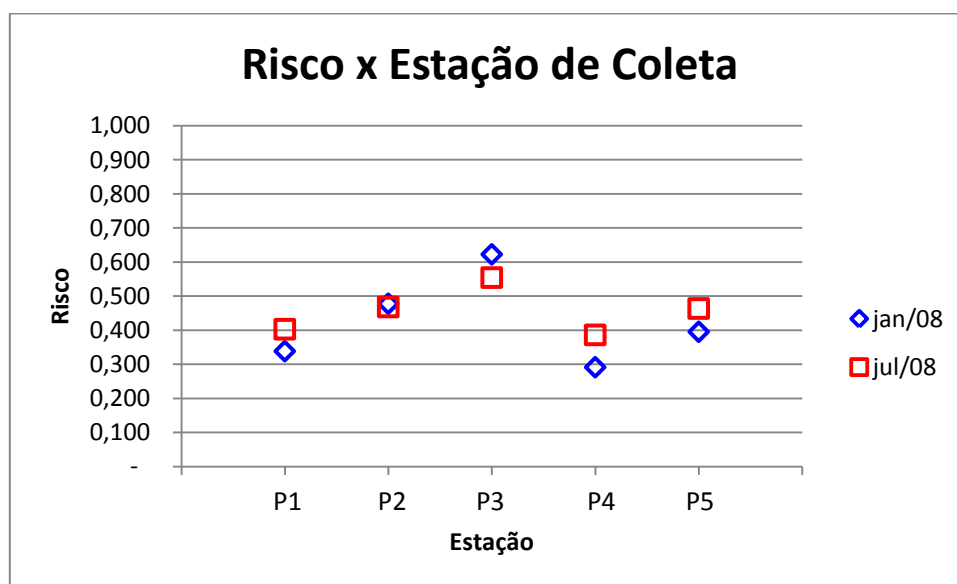


Figura 17 - Risco adaptado associado à Linha de Evidência Ecológica para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.

5.2.3.1.3. Linha de Evidência Ecotoxicológica

Para a determinação do risco a partir da toxicidade das amostras de água para os organismos-teste se faz necessária a utilização de um ponto de referência. Para a padronização com a Linha de Evidência Química, a toxicidade encontrada em P1 foi utilizada como valor referencial. Porém, ao contrário do que foi visualizado para a concentração de metais, o ponto demonstrou-se degradado, sendo tóxico para as

espécies *Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia*, ocasionando, para o mês de janeiro/2008, a mortalidade de 25% dos organismos no teste agudo e de 90% dos organismos no teste crônico. Para o mês de julho/2008, a toxicidade identificada foi de 5% para o microcrustáceo *Daphnia similis*, já para o teste crônico com *Ceriodaphnia dubia*, a toxicidade encontrada foi máxima, com 100% dos organismos ficando imóveis durante o teste.

Os ensaios crônicos com *Ceriodaphnia dubia* não foram realizados em janeiro/2008 para P3 e P4, sendo o risco encontrado para ambos os pontos determinados apenas pelo teste agudo. Como a imobilidade/mortalidade do organismo-teste nesses pontos foi menor do que a de P1, considerou-se não haver risco para P3 e P4.

Ainda para o mês de julho/2008, a toxicidade do teste agudo do ponto de referência superou a de P2, P3 e P4, onde não foram observadas mortalidade/imobilidade. A toxicidade de P1 também foi superior a de P2 (de 70%) e de P5 (de 60%) para o teste crônico. Para esses casos, considera-se risco igual a 0,000 para os pontos.

O valor de mortalidade máxima para o ponto de referência inviabilizou o equacionamento do risco para os demais pontos no teste com *Ceriodaphnia dubia* em julho/2008, sendo o risco encontrado para a Linha de Evidência Ecotoxicológica neste mês baseado apenas no teste realizado com o organismo *Daphnia similis*, que obteve mortalidade máxima (100%) em P2, de 80% em P3, de 9,52% em P4 e de 5% em P5 (mesmo valor encontrado para P1).

Por ser utilizado como referência, P1 obteve no equacionamento um risco igual a 0,000. Para os demais pontos, o risco em janeiro/2008 foi nulo devido à toxicidade inferior ao da referência, com exceção de P5, que obteve um risco de 0,069 devido a mortalidade encontrada no teste agudo. Já para julho/2008, o risco encontrado variou de 0,000 para P5 a 1,000 para P2. Os valores de risco para ambos os meses estão apresentados na Figura 17.

O valor da toxicidade (em porcentagem de organismos-testes imóveis/mortos) para cada ponto de amostragem (P1) e o cálculo do risco para a análise retrospectiva dessa linha de evidência encontram-se na Tabela B4, do Anexo B.

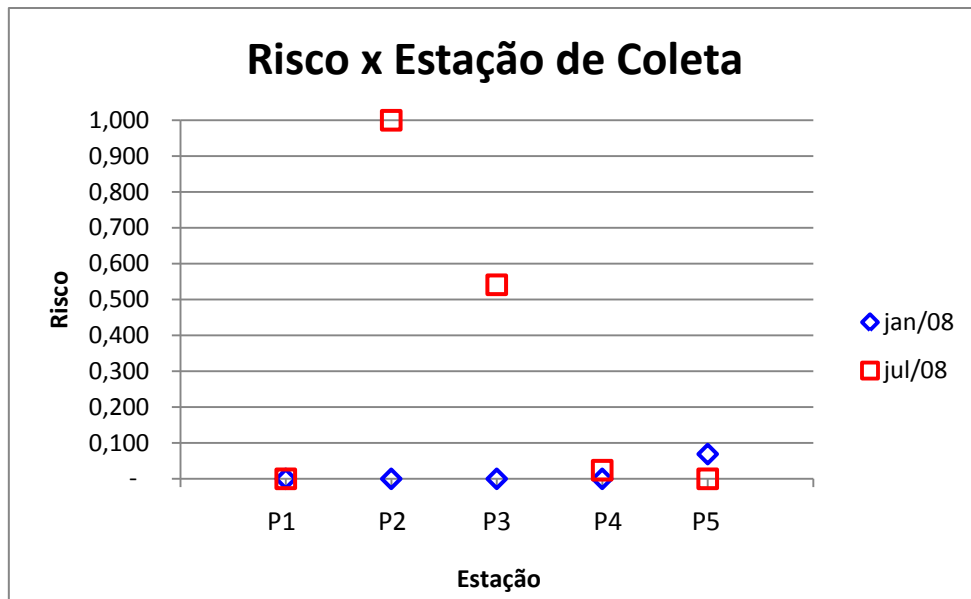


Figura 18 - Risco associado à Linha de Evidência Ecotoxicológica para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.

5.2.3.1.4. Integração das Linhas de Evidência

A Figura 18 apresenta o gráfico comparativo entre a Avaliação de Risco Ecológico realizada entre os meses de janeiro e julho de 2008. O passo a passo do equacionamento utilizado encontra-se na tabela B5, no Anexo B.

O risco classificado como baixo (entre 0,000 e 0,250) não foi identificado em nenhuma das análises realizadas, o risco moderado ou médio (entre 0,251 e 0,500) foi encontrado nos dois períodos para P1 (0,365 para janeiro/2008 e 0,490 para julho/2008) e P5 (0,430 para janeiro/2008 e 0,424 para julho/2008), em janeiro para P2 (0,442) e P3 (0,425) e em julho/2008 para P4 (0,385). O risco alto (entre 0,501 e 0,750) foi encontrado no mês de julho/2008 para P3 (0,551) e o risco altíssimo foi encontrado para P2 no mês de julho/2008 (0,979) e para P4 no mês de janeiro/2008 (0,785). Com isso, nota-se que nenhum dos pontos obteve risco alto ou altíssimo nos dois diferentes meses analisados.

É importante ressaltar que a presença do metal ferro identificada no mês de janeiro em P4 não foi encontrada no mês de julho e que um fator tóxico aos organismos-testes foi adicionado em P2 no mês de julho/2008.

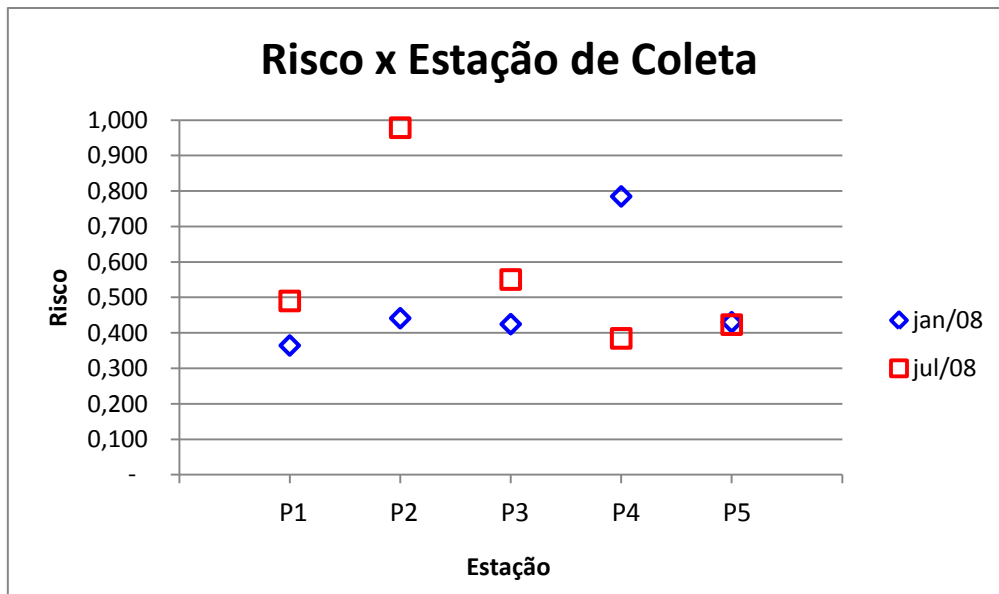


Figura 19 - Risco integrado para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.

- ***Integração Adaptada das Linhas de Evidência***

A adaptação realizada para a LoE Ecológica para viabilizar a comparação com a análise de abril/2014 alterou o risco integrado da análise retrospectiva, sendo este demonstrado na Figura 20, com equacionamento demonstrado na Tabela B6 do Anexo B.

A diminuição das variáveis ecológicas também diminuiu o risco relativo a essa LoE e fez com que o risco integrado fosse minimizado, gerando resultados que variam entre o risco considerado baixo e o altíssimo.

Das dez análises realizadas, seis obtiveram risco baixo, sendo elas as duas análises relativas à P1 (0,129 para janeiro/2008 e 0,228 para julho/2008) e a P5 (0,175 para janeiro/2008 e 0,192 para julho/2008); a análise referente a janeiro/2008 para P2 (com risco de 0,242) e referente a julho/2008 em P4 (risco de 0,159). O risco moderado foi obtido em ambos os períodos em P3 (0,277 em janeiro/2008 e 0,411 em julho/2008). Em janeiro/2008 para P4 foi obtido o único risco considerado alto, com valor de 0,693, o risco altíssimo foi encontrado para julho/2008 em P2, onde o valor máximo de 1,000 foi obtido para a LoE Ecotoxicológica.

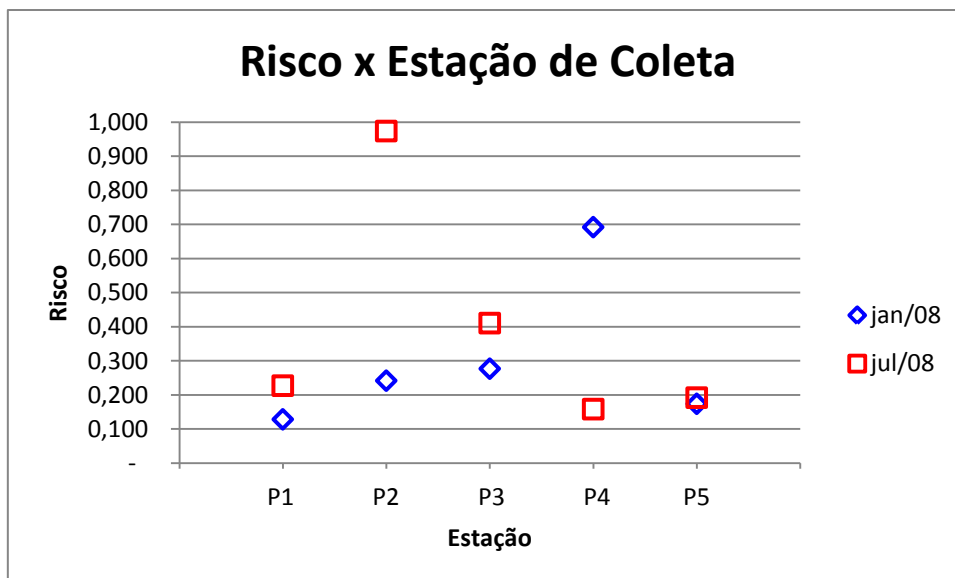


Figura 20 - Adaptação do Risco integrado para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise no município de Bom Repouso.

5.2.3.2. Análise Atual

5.2.3.2.1. Linha de Evidência Química

Para a LoE Química da análise com dados atuais (abril/2004) de Bom Repouso, MG, foi utilizado P1 como ponto de referência. Dos sete metais analisados, foi detectada a presença de cinco em P1, sendo que a concentração de ferro ($0,422 \text{ mg.L}^{-1}$) e de chumbo ($0,45 \text{ mg.L}^{-1}$) foi superior a seus respectivos valores de referência normativos de $0,300 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$.

O metal ferro também foi detectado nos demais pontos de coleta, porém só em P4 ele também esteve em uma concentração acima do valor CONAMA, sendo determinada uma concentração de $0,553 \text{ mg.L}^{-1}$.

Nenhum valor acima dos limites permitidos pela legislação foi encontrado para os metais manganês, cobre, zinco e cromo. Para o chumbo e cádmio, porém, todos as concentrações estão acima dos valores estabelecidos de ambos os metais, de $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$, tendo o chumbo variado entre $0,140 \text{ mg.L}^{-1}$ (P5) e $0,45$ (P1) e o cádmio entre $0,067$ (P3) e $0,101$ (P4).

A Figura 21 apresenta o risco encontrado para cada um dos pontos na coleta realizada em abril de 2014. A concentração de cada metal (Coleta), seu padrão CONAMA (Referência) e o equacionamento do risco são encontrados no Tabela C1, do Anexo C.

Por servir como referência, foi considerado 0,000 o risco em P1, para três dos demais pontos, o risco para a LoE Química foi determinado como baixo, tendo P2 encontrado o valor de 0,075; P3 de 0,063 e P5 de 0,113. P4, quatro dos cinco metais

identificados estiveram acima de P1, sendo o único ponto com risco moderado, com valor de 0,318.

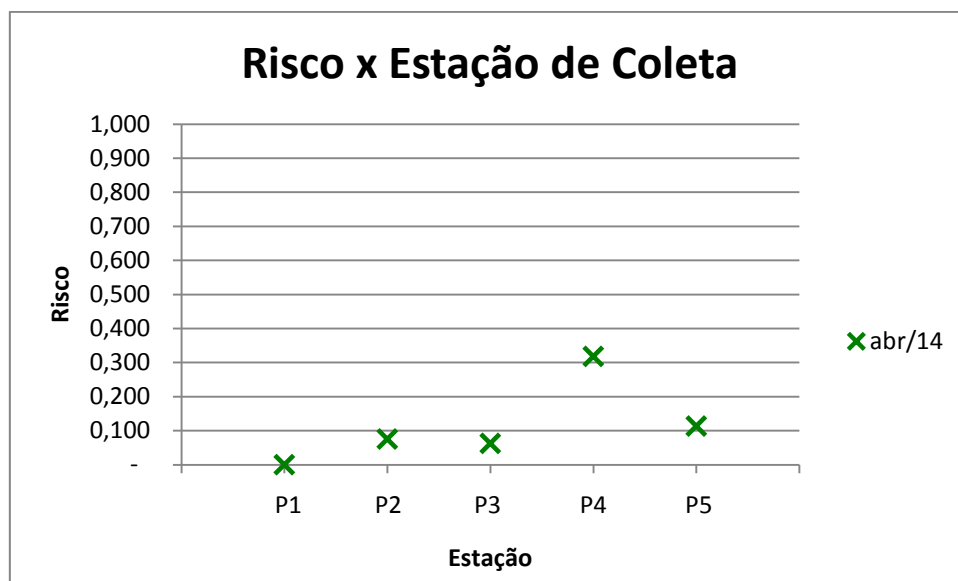


Figura 21 - Risco associado à Linha de Evidência Química para os cinco pontos de coleta para abril de 2014 no município de Bom Repouso.

5.2.3.2.2. Linha de Evidência Ecológica

A análise da LoE Ecológica para a análise de abril/2014 contou apenas com a análise de três variáveis, sendo elas pH, condutividade e oxigênio dissolvido. A Figura 22 apresenta o risco relacionado a essa LoE para coleta realizada em abril de 2014, os resultados dessa coleta para cada variável, de seu respectivo padrão CONAMA e o equacionamento para determinação do risco pelo método BKX encontram-se na Tabela C2 no Anexo C.

Para o parâmetro pH, dos cinco pontos amostrados, somente P3 manteve-se dentro da faixa que varia entre 6 e 9 definida pela Resolução CONAMA 357/2005, com valor encontrado de 6,455. Os demais pontos encontraram valor de 5,830 para P1, 5,680 para P2, 4,740 para P4 e 5,500 para P5.

As variáveis condutividade e oxigênio dissolvido mantiveram-se acima do padrão estipulado de 6,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e de 5,0 mg/L, respectivamente, em todos os pontos amostrados, tendo a condutividade variado entre 10,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P1) e 35,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P5) e o OD variado entre 8,360 (P3) e 10,300 (P2).

O risco associado a essa LoE foi menor para P1, com valor de 0,376, maior para P3 (0,547), pela maior condutividade determinada nesse ponto e encontrou valores de 0,485 em P2, 0,427 em P4 e 0,509 em P5.

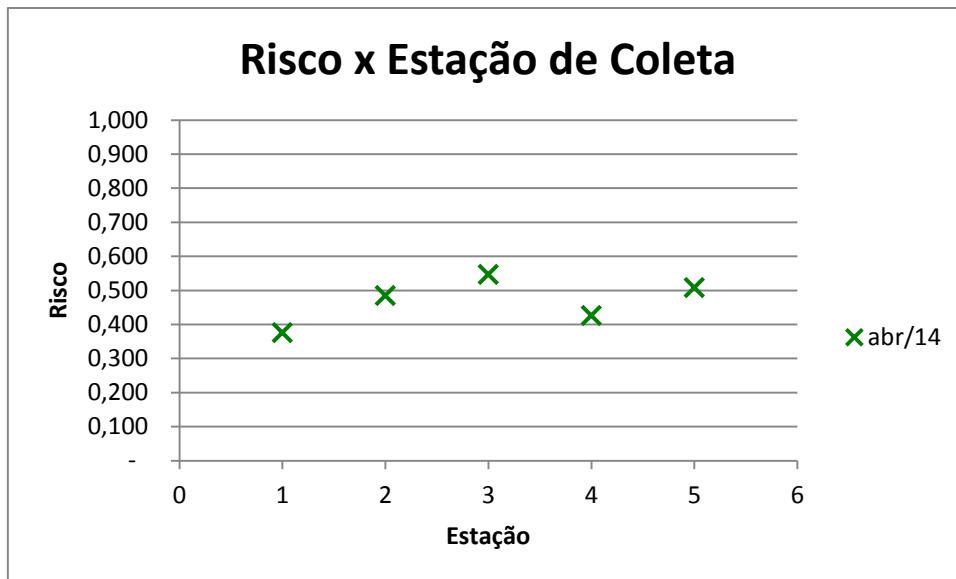


Figura 22 - Risco associado à Linha de Evidência Ecológica para os cinco pontos de coleta para abril de 2014 no município de Bom Repouso.

5.2.3.2.3. Linha de Evidência Ecotoxicológica

Os resultados do ensaio agudo realizado para o organismo-teste *D. similis* e do ensaio crônico para *C. silvestri* estão apresentados nas Figuras 23 e 24. Nota-se que em ambas as análises obteve-se no controle uma imobilidade/mortalidade menor do que 10%, atestando a validade do teste. Segundo a verificação dos resultados realizado pelo teste ANOVA, para o teste agudo, somente o resultado em P3 foi significativamente diferente do controle, já para o teste crônico, além de P3, para P1, utilizado como ponto de referência, também foram obtidos resultados diferentes do controle. Os resultados das análises são demonstrados no Anexo D.

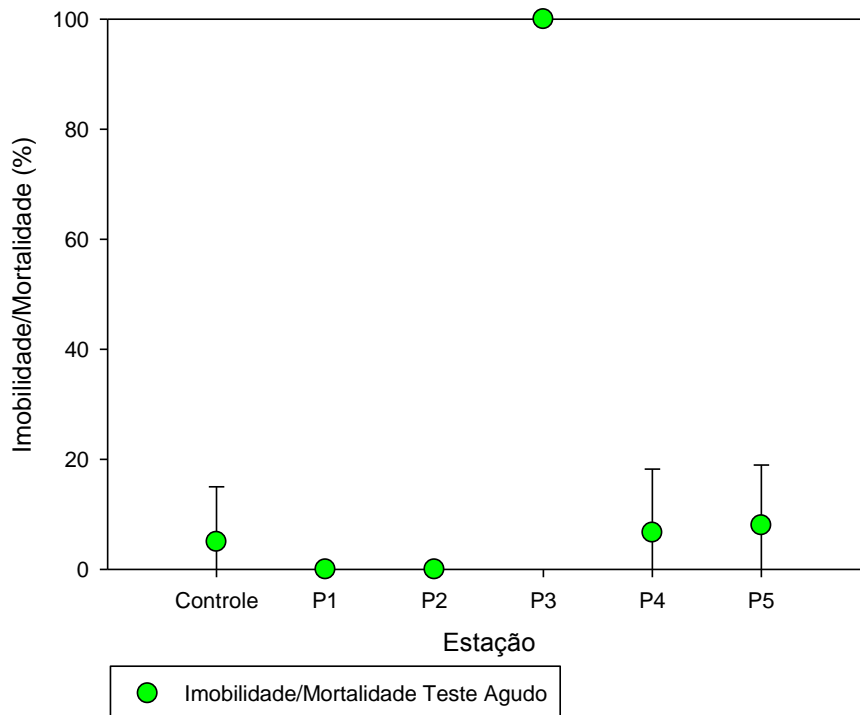


Figura 23 - Valores médios e desvio de mortalidade de organismos no teste de toxicidade aguda com *Daphnia silimis* para abril/2014, realizado e para cada um dos cinco pontos de coleta analisados.

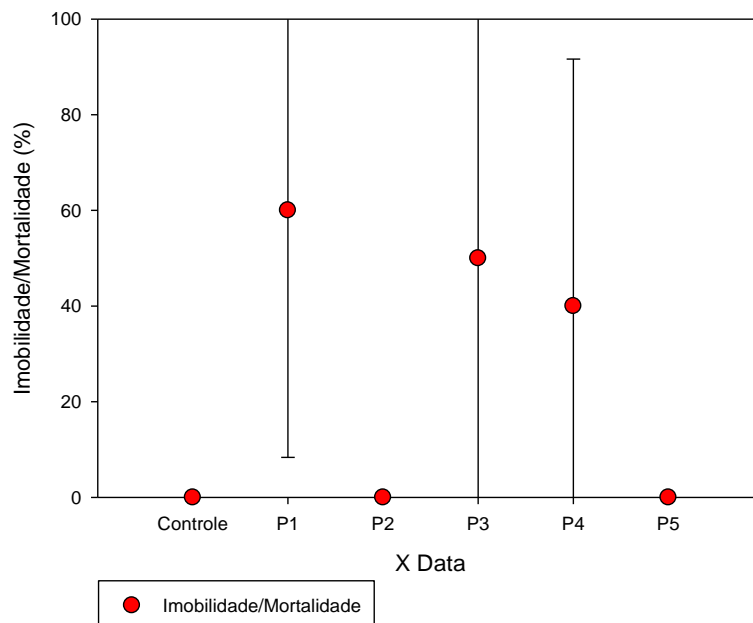


Figura 24 - Valores médios e desvio de mortalidade de organismos no teste de toxicidade crônica com *Cerioaphnia silvestri* para abril/2014, para cada um dos cinco pontos de coleta analisados.

A estação amostral P1 foi novamente utilizada como ponto de referência para a LoE, e novamente foram identificados efeitos de toxicidade no teste crônico, tendo 60% dos organismos-teste ficamos imóveis ou mortos ao final do teste, valor superior aos demais pontos. Porém, para esse mesmo ponto, não foi identificada toxicidade para o teste agudo, não ocorrendo a morte de nenhum dos organismos.

Mesmo com a mortalidade de 50% dos organismos para P3 e de 40% para P4 no teste crônico, a toxicidade superior em P1 foi determinante para a não identificação do risco em nenhum dos demais pontos, sendo o risco ecotoxicológico para abril/2014 determinado apenas pelo teste agudo, onde não foi identificada a morte de nenhum dos organismos para P2, mas 20% do organismo-teste *D. similis* apresentaram mortalidade para o teste realizado em P3, 5% em P4 e 10% em P5.

Assim, para P1 não foi apresentado risco (devido a sua utilização como referência), nem para P2, já que esse não apresentou mortalidade de organismos-teste no teste realizado, sendo identificado risco de 0,200 para P3, 0,025 para P4 e de 0,051 para P5, como demonstrado na Figura 25.

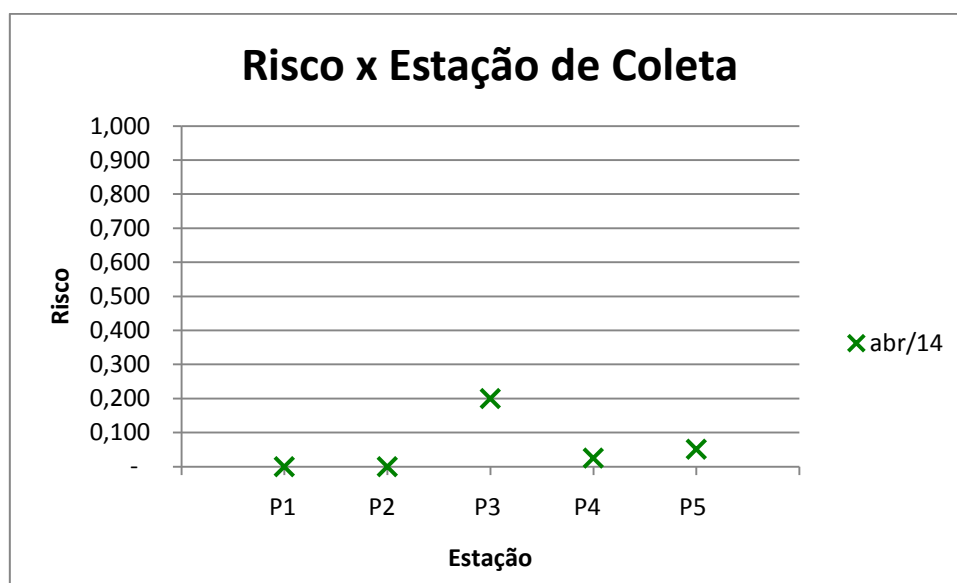


Figura 25 - Risco associado à Linha de Evidência Ecotoxicológica para os cinco pontos de coleta para abril de 2014 no município de Bom Repouso.

5.2.3.2.4. Integração das Linhas de Evidência

A Figura 26 apresenta os resultados dos valores de risco obtidos para os cinco pontos de amostragem, em coleta realizada em abril de 2014. O equacionamento que levou a obtenção desses dados pode ser encontrado na Tabela C4, no Anexo C.

A análise em abril/2014 revelou riscos baixos ou moderados em todos os pontos de coleta, sendo o menor dos riscos (0,146) encontrado para o ponto de

referência (P1), que pela metodologia utilizada possui risco igual a 0,000 para as Linhas de Evidência Química e Ecotoxicológica.

O outro ponto que obteve baixo risco foi P2, com valor obtido de 0,219. Os demais pontos encontraram riscos moderados de 0,302 para P3, 0,275 para P4 e 0,255 para P5, elevados pelo maior valor de risco encontrado na LoE Ecológica.

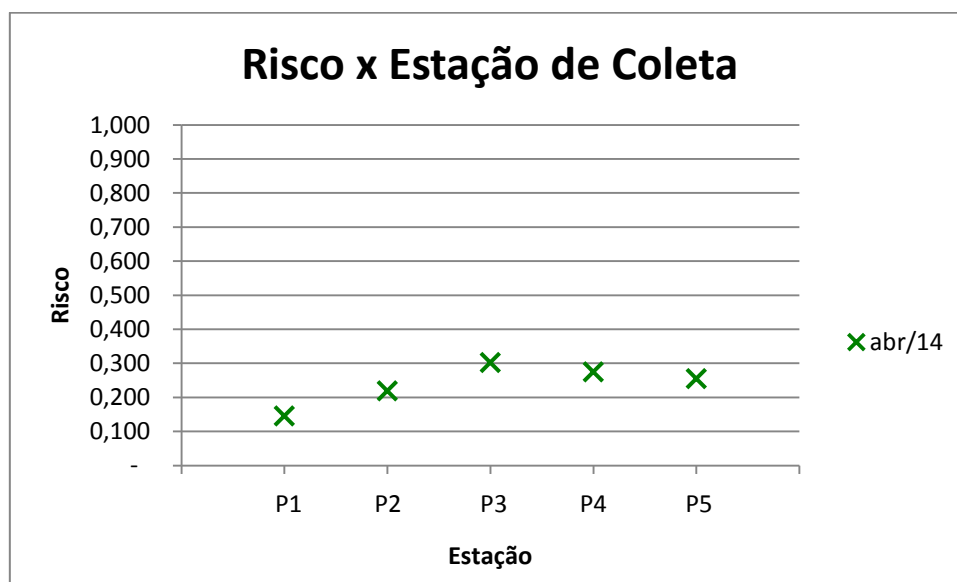


Figura 26 - Risco integrado para os cinco pontos de coleta e dois períodos de análise, no município de Bom Repouso.

5.2.4. Discussão

Nenhum dos pontos amostrados no estudo mostrou-se ideal para ser utilizado como referência. P1, que obteve a menor concentração para todos os metais na análise retrospectiva, também obteve imobilidade/mortalidade de 100% para o teste crônico no mês de julho/2000, além de altas concentrações dos metais ferro e cobre para abril/2014 e alta imobilidade/mortalidade de organismos no teste crônico do mesmo mês, evidenciando que, mesmo estando em altitude elevada e fora do caminho natural de carregamento dos poluentes por escoamento superficial, resíduos desses contaminantes atingem o ponto.

Em quatro dos cinco pontos amostrados, um maior risco ecológico foi obtido no mês de julho/2008, tais resultados são esperados devido a maior depuração de poluentes em janeiro, com o período de chuvas. Tal depuração é comprovada pela clara distinção entre os resultados referentes aos parâmetros zinco total e condutividade, menores no mês de janeiro/2008.

A escolha de quantos e quais parâmetros devam ser utilizados para a determinação do risco demonstrou-se crucial para uma análise mais coerente do ambiente quando realizada a adaptação da LoE Ecológica na análise retrospectiva,

pois a retirada de quatro parâmetros subestimou os valores de risco. Os valores determinados de nitrato e nitrito estavam a muito abaixo do valor recomendado, sendo que a exclusão destes parâmetros na análise diminuiu o a classificação do risco integrado para nove das dez análises realizadas, mantendo-se apenas o risco altíssimo de P2 para julho/2008, por este ter sido elevado pelo alto risco encontrado pela LoE Ecotoxicológica.

Com exceção do mês de janeiro/2008 para P4, que obteve uma concentração anormal do metal ferro, provavelmente pela recente deposição de um poluente no local amostrado, a LoE Química não foi responsável por elevar os riscos nas análises deste estudo de caso, não permitiu verificar indícios da utilização de agrotóxicos inorgânicos no município de Bom Repouso, MG.

A LoE Ecológica, mesmo ao utilizar somente três parâmetros, foi responsável por elevar o risco na maioria das análises, principalmente devido à condutividade, que possui valor padrão igual a 6,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mas, em P3, obteve valores aproximadamente 10 vezes maior para janeiro/2008; 9 vezes para julho/2008 e 5,5 vezes para abril/2014.

A toxicidade no teste crônico encontrada no ponto de referência, não permitiu que o risco relacionado a esse teste fosse equacionado, porém, ela demonstra que a contaminação pode estar atingindo as altitudes mais elevadas do município, possivelmente carregados por via aérea.

Um bom resultado foi obtido para a análise de abril/2014, pois mesmo a coleta sendo realizada no início do período de vazante da região, seus valores estiveram próximos da análise adaptada realizada no período de cheia (janeiro/2008) para três dos pontos de coleta (P1, P2 e P3), sendo os dois primeiros classificados como risco de baixa magnitude e o terceiro como risco moderado, todos inferiores aos riscos referentes a julho/2008. Em P4, por sua vez, o risco moderado obtido foi bastante inferior ao alto risco de janeiro/2008, mas superior ao de julho/2009. O risco determinado em P5 foi pouco superior ao dos demais períodos analisados.

Parte dessa diminuição do risco obtida entre os anos de 2008 e 2014 é ilusória e gerada pelo aumento dos valores obtidos no ponto de referência de 2014, como o que ocorreu para os metais ferro, zinco e cádmio. Entretanto, os valores identificados para os parâmetros condutividade e concentração do metal cromo, além da toxicidade para ambos testes agudo e crônico, demonstram que a qualidade dos corpos d'água analisados melhorou, em certos aspectos, entre os períodos amostrados, o que pode ter ocorrido devido à programas implementados durante o Projeto Mogi-Guaçu, que incentivou o cultivo de morango e batata orgânicos na região, e buscou disseminar informações acerca dos perigos da utilização exagerada dos agrotóxicos. Porém, com

o fim dessa fase do projeto, estes programas foram deixando de existir, levando a uma nova perda de qualidade do sistema.

Tal fator demonstra que o resgate do projeto que começa a ser realizado em 2014 é de grande valia para a melhora da qualidade de água da região.

6. DISCUSSÃO GERAL

A metodologia utilizada para quantificação do risco demonstrou-se de grande eficácia na valoração do grau de degradação do ambiente, demonstrando que o método descritivo da ARE gera valores condizentes com a realidade observada nos locais amostrados, possibilitando a análise da qualidade da água de determinado ecossistema.

As três linhas de evidência utilizadas são complementares e importantes para a verificação da qualidade da água, visto que em ambos os estudos de caso foram identificadas classificações diferentes de risco para cada LoE em relação ao risco identificado para as análises integradas. Como exemplo, tem-se P3 do reservatório de Salto Grande para o mês de maio/2000, que obteve risco nulo para a LoE ecotoxicológica, risco alto para a LoE Ecológica e risco altíssimo para a LoE Química, com integração de resultados revelando um risco alto, próximo do valor marginal para com o risco altíssimo.

Embora demonstre a situação da área, o valor de risco obtido pelo método não possibilita a identificação das causas da poluição do sistema, demonstrando a importância de análises adicionais na região, devendo cada variável ser avaliada individualmente para a determinação da melhor medida preventiva, mitigadora ou de tratamento que o corpo d'água deve receber.

Em nenhum dos dois estudos realizados foi possível encontrar um ponto ideal, na região amostrada e livre de contaminação, para ser utilizado como referencial, como é necessário para as Linhas de Evidência Química e Ecotoxicológica. Isso se deve ao avançado grau de ação antrópica nos diferentes ambientes, sendo os poluentes carreados pela água, solo e ar, atingindo até as áreas mais distantes dos pontos de entrada dos resíduos no ambiente aquático.

Para as LoE Química e Ecológica, a atribuição de pesos demonstrou-se necessária devido à diferente importância ambiental que cada parâmetro estudado apresenta para o sistema. Entretanto, a mesma atribuição de pesos demonstrou-se subjetiva devido ao fato de não haver uma padronização dos pesos de cada variável, variando de acordo com a importância dada a cada parâmetro pelo autor, fator também discutido em Ferraz (2008), que indicou a atribuição de pesos como incerteza do método, necessitando de um fortalecimento em suas bases científicas.

Uma limitação do método é a utilização de um valor único de referência normativa, o que leva a quantificação de riscos para valores que não extrapolam este limite, como identificado para o parâmetro pH, onde foi utilizado um valor de referência de 7,5, sendo quantificados os riscos para os outros valores entre 6 e 9, tal fator também foi identificado para as concentrações de metais inferiores às permitidas por lei, que pelo equacionamento proposto apresentam risco ao sistema.

Os dados apresentados são referentes somente ao compartimento água do reservatório, mas a metodologia utilizada também pode ser aplicada na análise do compartimento sedimento, possibilitando um estudo mais completo do sistema.

Diferentes abordagens para a Avaliação do Risco Ecológico Descritivo são demonstradas na literatura, gerando resultados qualitativos ou quantitativos de acordo com o método utilizado. A avaliação do melhor método para o sistema analisado é um importante passo para a caracterização do risco de uma área degradada.

7. CONCLUSÃO

A análise integrada da tríade demonstrou-se eficiente no processo de uma completa quantificação do nível de risco decorrente das pressões ambientais no ecossistemas estudados, tendo o método alcançado êxito nos dois estudos de caso realizados, permitindo comparações e identificação de pontos positivos e negativos.

A determinação do ponto de referência e dos pesos de cada variável são as principais incertezas do método proposto por Jensen e Mesman e necessitam de maior estudo, para a diminuição dos erros associados.

A criação de metodologias padronizadas para a Avaliação de Risco para ambientes tropicais se faz necessária, de modo a permitir que esse método seja utilizado em âmbito legal para a real validação do risco determinado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVA-ARGAÉZ, A.; KOKOSSIS, A. C.; SMITH, R. **The design of water-using system in petroleum refining using a water-pinch decomposition.** Chemical engeneering Journal. V. 128. p33-46. 2007.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods.** 19th Edition. American Public Health Association, Washington, DC. 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12713. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com *Daphnia spp* (Cladocera, Crustacea).** 2ª ed. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13373. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Ceriodaphnia spp* (Cladocera, Crustacea).** 2ª ed. 2005.
- BARBOSA, S. P. P.; CAMINHA, M. C. C. e PAZ, M. C. F. **Identificação da microbiota bacteriana autóctone de efluentes petroquímicos no município de Fortaleza.** II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa. 2007.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M. PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N. e EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** O desafio do desenvolvimento sustentável. 2a ed. São Paulo. 2005.
- BRASIL. Lei nº 7.802 de 11 de julho de 1989. **Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências.** Brasília. 1989.
- BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. A Bacia Hidrográfica: Aspectos conceituais e caracterização geral da bacia do Rio Mogi-Guaçu. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. (Eds.) **Limnologia Fluvial: Um estudo no Rio Mogi-Guaçu.** 1 ed. São Carlos: RiMa Editora, cap. 3, p. 28-37. 2003.
- BRIGANTE, J.; DA COSTA, J. N. M. N.; MENDONÇA, A. H.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Ações de Restauração Florestal: Valorização dos Recursos Florestais da Bacia Hidrográfica de Montante do Rio Mogi-Guaçu. In. ESPÍNDOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J. (Org). **Projeto Mogi-Guaçu: Desenvolvendo Ações Ambientais.** São Carlos. RiMa. 2007.
- BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. O Projeto Mogi-Guaçu. In. ESPÍNDOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J. (Org). **Projeto Mogi-Guaçu: Desenvolvendo Ações Ambientais.** São Carlos. RiMa. 2007.
- CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (CETEM). **Avaliação de risco ecológico: conceitos básicos, metodologia e estudo de caso.** Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Rio de Janeiro. 126p. 2011.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes

ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU (CBH MOGI). **Plano da Bacia Hidrográfica 2008-2011**. 2008. 170p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2012**. São Paulo. 2013. 370 p. Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103.

CUNHA, G. P. Q. **Caracterização ambiental da região de montante do rio Mogi-Guaçu (Bom Repouso - MG): estratégias para replicabilidade e diretrizes para elaboração do plano de adequação ambiental**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). São Carlos. 2009.

DA SILVA, C. L. **Análise da vulnerabilidade ambiental aos principais pesticidas recomendados para os sistemas de produção de algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, citros, milho e soja**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas. 116f. 2004.

DORNFELD, C. B. **Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)**. de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). São Carlos. 2002.

ELER, M. E.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J. Avaliação ambiental preliminar do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. (Eds.) **Limnologia Fluvial: Um estudo no Rio Mogi-Guaçu**. 1 ed. São Carlos: RiMa Editora, cap. 3, p. 28-37. 2003.

ESPÍNDOLA, E. L. G.; LEITE, M. A.; DORNFELD, C. B. **Reservatório de Salto Grande (Americana, SP): Caracterização, Impactos e Propostas de Manejo**. São Carlos: RiMa, 2004.

FAIRMAN, R., MEAD, C.D., WILLIAMS, P. **Environmental Risk Assessment - Approaches, Experiences and Information Sources**. European Environment Agency (EEA): ISBN: 92-9167-080-4. 1998.

FARIA, O. B.; MAZZO, F. C.; JACOB, N. B. **Avaliação da resistência à compressão de adobe, produzindo com adição de biomassa de macrófitas aquáticas, após o ensaio de absorção de água – III ENECS – Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**

FERRAZ, A. P. **Avaliação de risco ecológico para o rio Monjolinho (São Carlos/SP)**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), São Carlos. 2008.

FONSECA, M. F. **Geotecnologias aplicadas ao diagnóstico do uso da terra no entorno do Reservatório de Salto Grande, município de Americana (SP), como subsídio ao planejamento territorial**. Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2008.

GIORDANO, G. . **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente. UERJ. Rio de Janeiro. 2009.

GHEJU, M.; BOGATU, C. **Preliminary Ecological Risk Assessment to Aquatic Environment of Bega River due to Presence of Ammonia in Treated Sewage Effluent**. Chem. Bull. "POLITEHNICA" Univ. 2009.

- HACKBARTH, F. V. **Remoção de metais de efluentes petroquímicos utilizando biomassa de microalga marinha *Pelvetia Canaliculata* como adsorvente.** Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2014
- HANAI, F. Y. **Sistema de indicadores de sustentabilidade: uma aplicação ao contexto de desenvolvimento do turismo da região de Bueno Brandão, Estado de Minas Gerais, Brasil.** Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP). São Carlos. 2009.
- HOFLING, J. C.; FERREIRA, L. I.; RIBEIRO NETO, F. B.; BRUNINI, A.P. C. **The trophic ecology of the Salto Grande reservoir, Americana, São Paulo state, Brazil.** Bioikos, PUC – Campinas. 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico de 2010.** Dados referentes ao município de Bom Repouso, MG, fornecidos em meio eletrônico. 2010.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) - SP/MG** (Relatório Síntese - R3). Relatório Técnico N° 96.581-205. Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas (CETAE). Laboratório de Recursos Hídricos e Avaliação Geoambiental (LabGeo). 2008.
- JENSEN, J.; MESMAN, M. (eds). **Ecological risk assessment of contaminated land Decision support for site specific investigations.** 2006. 136 p.
- LEITE, M. A.; DORNFELD, C. B.; ESPÍNDOLA, E. L. G. **Análise da concentração de metais na água do reservatório de Salto Grande: diagnóstico ambiental e saúde pública.** 2004.
- LONDRES, F.; **Agrotóxicos no Brasil, um guia para ação em defesa da vida.** Assessoria e Serviços a Projetos de Agricultura Alternativa. Rio de Janeiro. 2011.
- MACKERETH, J. F. H.; HERON, J. E TAILLING, J. F. **Water analysis: some revised methods for limnologists.** Freshwater Biological Association, n. 36, 121 p., 1978.
- MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino de petróleo.** Tese de Mestrado. UFRJ. Rio de Janeiro. 2001.
- NIEMEYER, J. C. **Ecological risk assessment of a tropical metal contaminated area: the case study of Santo Amaro, Bahia, Brasil.** Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra. Coimbra. 2012.
- NIEMEYER, J. C.; MOREIRA-SANTOS, M.; NOGUEIRA, M. A.; CARVALHO, G. M.; RIBEIRO, R.; SILVA, E. M. & J. P. SOUSA. **Environmental risk assessment of metal-contaminated area in the Tropics. Tier I: screening phase.** Ecotoxicology. 2010.
- MASSABNI, A. C. **Os metais e a saúde humana.** Instituto de Química da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP). Araraquara. 2006.
- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **Manual de vigilância da saúde de populações expostas a agrotóxicos.** Brasília. 1997. 69p.
- PIVELI, R. P. ; KATO, M. T. . **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos.** 01. ed. São Paulo/SP: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. v. 01. 285p .

- RAND, G. M.; CARRINGER, J. F.; GARDINALLI, P. R. & J. CASTRO. **Endosulfan and its metabolite, endosulfan sulfate, in freshwater ecosystems of South Florida: a probabilistic aquatic ecological risk assessment**. 22p. 2010.
- REZENDE, J. C.; **Avaliação das Águas de Abastecimento da Área Rural do Município de Bom Repouso, MG**. Monografia de Graduação, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). Universidade de São Paulo (USP). São Carlos. 2009.
- ROMANELLI, M. F. **Avaliação da toxicidade aguda e crônica dos surfactantes DSS e LAS submetidos à irradiação com feixes de elétrons**, p. 10. IPEN, São Paulo. 2004.
- SANCHEZ, A. L. **Análise de risco ecológico para o diagnóstico de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos continentais tropicais**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- SANCHEZ, A. L. **Avaliação de risco ecológico de pesticidas em ambientes aquáticos continentais tropicais com ênfase na biodiversidade e nas funções e serviços ecossistêmicos**. Qualificação (Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental). EESC-USP, São Carlos. 2013.
- SILVA, C. M. M. de S. e FAY, E. F. **Agrotóxicos e Ambiente**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília. p. 17-23. 2004.
- SPSS. Sigma Stat for Windows Version 3.5. Chicago: SPSS Inc.; 1997.
- STRAŠKRABA, M. & TUNDISI, J.G. **Reservoir ecosystem functioning: theory and application**. 565-597 p. In: TUNDISI, J.G & STRAŠKRABA, M. Theoretical reservoir ecology and its applications, São Carlos: ABC, IIE, Backhuys Publishers, 1999.
- SUPERINTENDÊNCIA DE CONTROLE DE ENDEMIAS (SUCEN). **Segurança em controle químico de vetores**. Secretaria Estadual de Saúde. Ministério de Saúde e Universidades. São Paulo. 2001.
- TALLINI, K.; GUIMARÃES, L. S. P.; FACHEL, J. M. G. e RODRIGUEZ, M. T. R. **Estabelecimento de Protocolo de Avaliação de Risco Ecológico em Ambiente Aquático tendo o Programa de Monitoramento do Rio Jacuí, São Jerônimo (RS)**. J. Braz. Soc. Ecotoxicol., v. 7, n 1, 55-63. 2012.
- TOMITA, R. Y. e BEYRUTH, Z. **Toxicologia de agrotóxicos em ambientes aquáticos. Biológico**. São Paulo, v. 62, n.2, p. 135-142, jul./dez. 2002.
- TUNDISI, JOSÉ G. e MATSUMURA-TUNDISI, T. **The ecology of UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa Reservoir) and its watershed**, São Paulo, Brazil. Freshwater Reviews, v. 6, 2014.
- U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Framework for ecological risk assessment**. Risk Assessment Forum, EPA/630/R-92/001. 1992.
- WARD, S.; AUGSPUGER, T.; DWYER, F. J.; KANE, C. & C. G. INGERSOLL. **Risk assessment of water quality in three North Carolina, USA, streams supporting federally endangered freshwater mussels (Unionidae)**. Environmental Toxicology and Chemistry. 2007.

WIMMER, A. C. S. **Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de uma indústria petroquímica.** Dissertação de Mestrado. PUC. Rio de Janeiro. 195f. 2007.

ANEXO A

Tabela A1: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Química retrospectiva para o Reservatório de Salto Grande.

LoE Química - Dados Históricos: Dornfeld 2002															
Ferro (mg/L Fe)															
Ponto:	Ref.			1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
R1 (Coleta)	0	0	0	0,544	0,372	0,517	0,274	0,283	0,627	0,258	0,172	0,532	0,232	0,153	0,489
R2 (Referência)	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
R3	-	-	-	0,907	0,620	0,862	0,457	0,472	1,045	0,430	0,287	0,887	0,387	0,255	0,815
R4	-	-	-	0,476	0,383	0,463	0,314	0,320	0,511	0,301	0,223	0,470	0,279	0,203	0,449
R5	-	-	-	0,476	0,383	0,463	0,314	0,320	0,511	0,301	0,223	0,470	0,279	0,203	0,449
Manganês (mg/L Mn)															
Ponto:	Ref.			1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
R1 (Coleta)	0	0	0	0,028	0,040	0,142	0,045	0,052	0,097	0,045	0,028	0,049	0,064	0,038	0,039
R2 (Referência)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
R3	-	-	-	0,140	0,200	0,710	0,225	0,260	0,485	0,225	0,140	0,245	0,320	0,190	0,195
R4	-	-	-	0,123	0,167	0,415	0,184	0,206	0,327	0,184	0,123	0,197	0,242	0,160	0,163
R5	-	-	-	0,123	0,167	0,415	0,184	0,206	0,327	0,184	0,123	0,197	0,242	0,160	0,163
Chumbo (mg/L Pb)															
Ponto:	Ref.			1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
R1 (Coleta)	0,17	0,04	0,001	0,041	0,039	0	0,044	0,047	0,014	0,049	0,055	0	0,047	0,034	0
R2 (Referência)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
R3	17,000	4,000	0,100	4,100	3,900	-	4,400	4,700	1,400	4,900	5,500	-	4,700	3,400	-
R4	0,944	0,800	0,091	0,804	0,796	-	0,815	0,825	0,583	0,831	0,846	-	0,825	0,773	-
R5	-	-	-	-	-	-	-	0,123	0,542	-	0,231	-	-	-	-

Tabela A1: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Química retrospectiva para o Reservatório de Salto Grande.

LoE Química - Dados Históricos: Dornfeld 2002															
Cobre (mg/L Cu)															
Ponto:	Ref.			1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
R1 (Coleta)	0	0	0	0,022	0,018	0,004	0,013	0,02	0,005	0,111	0,017	0,005	0,022	0,019	0,007
R2 (Referência)	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
R3	-	-	-	0,244	0,200	0,044	0,144	0,222	0,056	1,233	0,189	0,056	0,244	0,211	0,078
R4	-	-	-	0,196	0,167	0,043	0,126	0,182	0,053	0,552	0,159	0,053	0,196	0,174	0,072
R5	-	-	-	0,196	0,167	0,043	0,126	0,182	0,053	0,552	0,159	0,053	0,196	0,174	0,072
Zinco (mg/L Zn)															
Ponto:	Ref.			1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
R1 (Coleta)	0,07	0,084	0,001	0,054	0,024	0,009	0,025	0,02	0,008	0,034	0,017	0,006	0,035	0,022	0,013
R2 (Referência)	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
R3	0,194	0,233	0,003	0,150	0,067	0,025	0,069	0,056	0,022	0,094	0,047	0,017	0,097	0,061	0,036
R4	0,163	0,189	0,003	0,130	0,063	0,024	0,065	0,053	0,022	0,086	0,045	0,016	0,089	0,058	0,035
R5	-	-	-	-	-	0,022	-	-	0,019	-	-	0,014	-	-	0,032
Cádmio (mg/L Cd)															
Ponto:	Ref.			1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
R1 (Coleta)	0	0	0	0,003	0,004	0,002	0,004	0,005	0,002	0,005	0,005	0	0,004	0,006	0,022
R2 (Referência)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
R3	-	-	-	3,000	4,000	2,000	4,000	5,000	2,000	5,000	5,000	-	4,000	6,000	22,000
R4	-	-	-	0,750	0,800	0,667	0,800	0,833	0,667	0,833	0,833	-	0,800	0,857	0,957
R5	-	-	-	0,750	0,800	0,667	0,800	0,833	0,667	0,833	0,833	-	0,800	0,857	0,957
Risco Combinado															
R6	-	-	-	0,908	0,914	0,902	0,902	0,935	0,953	0,957	0,926	0,602	0,912	0,921	0,982

Tabela A2: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecológica retrospectiva para o Reservatório de Salto Grande

LoE Ecológica - Dados Históricos: Dornfeld 2002												
pH												
Ponto:	1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
Coleta	6,668	7,017	9,346	6,631	7,341	9,038	6,425	7,415	8,258	6,478	7,692	8,266
Referência	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
R1	0,889	0,936	1,246	0,884	0,979	1,205	0,857	0,989	1,101	0,864	1,026	1,102
R2	0,051	0,029	0,096	0,053	0,009	0,081	0,067	0,005	0,042	0,064	0,011	0,042
Condutividade (µS/cm)												
Ponto:	1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
Coleta	50,22	388,33	421,20	47,43	380,43	397,00	35,10	370,38	358,40	34,00	367,00	356,80
Referência	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
R1	7,971	61,640	66,857	7,529	60,386	63,016	5,571	58,790	56,889	5,397	58,254	56,635
R2	0,902	1,790	1,825	0,877	1,781	1,799	0,746	1,769	1,755	0,732	1,765	1,753
OD (mg/L)												
Ponto:	1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
Coleta	1,378	4,167	13,766	3,343	5,790	10,845	2,550	6,189	7,992	2,050	7,302	7,392
Referência	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
R1	0,276	0,833	2,753	0,669	1,158	2,169	0,510	1,238	1,598	0,410	1,460	1,478
R2	0,560	0,079	0,440	0,175	0,064	0,336	0,292	0,093	0,204	0,387	0,164	0,170
Temperatura (°C)												
Ponto:	1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
Coleta	23,667	19,467	29,880	23,586	19,429	28,975	23,670	19,425	25,960	23,525	20,460	26,020
Referência	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
R1	0,592	0,487	0,747	0,590	0,486	0,724	0,592	0,486	0,649	0,588	0,512	0,651
R2	0,182	0,250	0,101	0,184	0,251	0,112	0,182	0,251	0,150	0,184	0,233	0,149

Tabela A2: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecológica retrospectiva para o Reservatório de Salto Grande

LoE Ecológica - Dados Históricos: Dornfeld 2002												
Nitrato (mg/L)												
Ponto:	1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
Coleta	1,248	1,054	0,700	1,278	1,066	0,816	1,111	1,028	0,683	1,063	1,013	0,651
Referência	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
R1	0,125	0,105	0,070	0,128	0,107	0,082	0,111	0,103	0,068	0,106	0,101	0,065
R2	0,723	0,782	0,924	0,715	0,778	0,871	0,763	0,790	0,932	0,779	0,796	0,949
Clorofila a (µg/L)												
Ponto:	1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
Coleta	126,42	76,90	67,31	97,83	101,66	153,28	41,50	125,37	127,30	51,96	76,90	141,77
Referência	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000
R1	4,214	2,563	2,244	3,261	3,389	5,109	1,383	4,179	4,243	1,732	2,563	4,726
R2	0,312	0,204	0,175	0,257	0,265	0,354	0,070	0,311	0,314	0,119	0,204	0,337
Nitrogênio Orgânico Total												
Ponto:	1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
Coleta	0,885	2,575	8,860	1,070	1,820	10,265	1,660	3,325	7,070	1,470	1,290	6,180
Referência	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180
R1	0,406	1,181	4,064	0,491	0,835	4,709	0,761	1,525	3,243	0,674	0,592	2,835
R2	0,392	0,072	0,609	0,309	0,078	0,673	0,118	0,183	0,511	0,171	0,228	0,453
Fósforo Total (µg/L)												
Ponto:	1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
Coleta	132,18	124,00	192,30	300,98	136,92	190,94	101,39	94,11	122,16	231,69	81,23	113,50
Referência	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000
R1	4,40583	4,13317	6,41	10,0325	4,56383	6,3645	3,37967	3,13683	4,072	7,72283	2,7075	3,78333
R2	0,644	0,616	0,807	1,001	0,659	0,804	0,529	0,496	0,610	0,888	0,433	0,578

Tabela A2: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecológica retrospectiva para o Reservatório de Salto Grande

LoE Ecológica - Dados Históricos: Dornfeld 2002												
Risco Combinado												
R3	- 3,766	- 3,823	- 4,977	- 3,570	- 3,885	- 5,030	- 2,769	- 3,899	- 4,518	- 3,324	- 3,834	- 4,431
R4	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
R5	- 0,471	- 0,478	- 0,622	- 0,446	- 0,486	- 0,629	- 0,346	- 0,487	- 0,565	- 0,416	- 0,479	- 0,554
R6	0,662	0,667	0,761	0,642	0,673	0,765	0,549	0,674	0,728	0,616	0,668	0,721

Tabela A3: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecotoxicológica retrospectiva para o Reservatório de Salto Grande.

LoE Ecotoxicológica - Dados Históricos: Dornfeld 2002															
<i>D. similis</i>															
Ponto:	Ref			1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
Dados mortandade (%)	0	13,33	13,33	0	13,33	6,66	0	6,66	40	0	100	40	0	100	20
R1	0	0,1333	0,1333	0	0,1333	0,0666	0	0,0666	0,4	0	1	0,4	0	1	0,2
R2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,308	-	1,000	0,308	-	1,000	0,077

Tabela A4: Cálculo do risco retrospectiva integrado para o Reservatório de Salto Grande.

Integração das LoE - Dados Históricos: Dornfeld 2002												
Ponto:	1			2			3			4		
	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00	mai/00	ago/00	nov/00
X LoE Química	0,908	0,914	0,902	0,902	0,935	0,953	0,957	0,926	0,602	0,912	0,921	0,982
X LoE Ecológica	0,662	0,667	0,761	0,642	0,673	0,765	0,549	0,674	0,728	0,616	0,668	0,721
X LoE Ecotoxicológica	-	-	-	-	-	0,308	-	1,000	0,308	-	1,000	0,077
R1 Química	- 1,034	- 1,067	- 1,008	- 1,009	- 1,190	- 1,330	- 1,371	- 1,134	- 0,400	- 1,056	- 1,102	- 1,745
R1 Ecológica	- 0,471	- 0,478	- 0,622	- 0,446	- 0,486	- 0,629	- 0,346	- 0,487	- 0,565	- 0,416	- 0,479	- 0,554
R1 Ecotoxicológica	-	-	-	-	-	- 0,160	-	- 8,000	- 0,160	-	- 9,000	- 0,035
R2	- 0,502	- 0,515	- 0,544	- 0,485	- 0,559	- 0,706	- 0,572	- 3,207	- 0,375	- 0,491	- 3,527	- 0,778
R3	0,685	0,694	0,714	0,673	0,724	0,803	0,732	0,999	0,578	0,677	1,000	0,833

ANEXO B

Tabela B1: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Química retrospectiva para o município de Bom Repouso.

LoE Química - Dados Históricos: Resende 2008										
Ferro (mg/L Fe)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
R1 (Coleta)	0	0	0	0	0	0	11,09	0	0	0
R2 (Referência)	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
R3	-	-	-	-	-	-	18,483	-	-	-
R4	-	-	-	-	-	-	0,949	-	-	-
R5	-	-	-	-	-	-	0,949	-	-	-
Manganês (mg/L Mn)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
R1 (Coleta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R2 (Referência)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo (mg/L Pb)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
R1 (Coleta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R2 (Referência)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela B1: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Química retrospectiva para o município de Bom Repouso.

LoE Química - Dados Históricos: Resende 2008										
Cobre (mg/L Cu)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
R1 (Coleta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R2 (Referência)	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinco (mg/L Zn)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
R1 (Coleta)	0	0	0	0,0024	0	0	0	0,0021	0	0,0064
R2 (Referência)	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
R3	-	-	-	0,007	-	-	-	0,006	-	0,018
R4	-	-	-	0,007	-	-	-	0,006	-	0,017
R5	-	-	-	0,007	-	-	-	0,006	-	0,017
Cádmio (mg/L Cd)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
R1 (Coleta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R2 (Referência)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
R3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela B1: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Química retrospectiva para o município de Bom Repouso.

LoE Química - Dados Históricos: Resende 2008										
Cromo (mg/L Cr)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
R1 (Coleta)	0,019	0	0,023	0	0,018	0	0,024	0	0,018	0
R2 (Referência)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
R3	19,000	-	23,000	-	18,000	-	24,000	-	18,000	-
R4	0,950	-	0,958	-	0,947	-	0,960	-	0,947	-
R5	-	-	0,167	-	-	-	0,200	-	-	-
Risco Combinado										
R6	-	-	0,167	0,007	-	-	0,959	0,006	-	0,017

Tabela B2: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecológica retrospectiva para o município de Bom Reposo.

LoE Ecológica - Dados Históricos: Resende 2008										
pH										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	6,420	7,790	6,700	7,700	6,520	6,520	5,700	5,380	6,230	6,410
Referência	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
R1	0,856	1,039	0,893	1,027	0,869	0,869	0,760	0,717	0,831	0,855
R2	0,068	0,016	0,049	0,011	0,061	0,061	0,119	0,144	0,081	0,068
Condutividade (µS/cm)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	12,00	20,00	21,00	25,33	62,67	55,00	13,00	15,33	21,00	22,00
Referência	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
R1	1,905	3,175	3,333	4,021	9,948	8,730	2,063	2,433	3,333	3,492
R2	0,280	0,502	0,523	0,604	0,998	0,941	0,315	0,386	0,523	0,543
OD (mg/L)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	7,780	7,140	9,420	8,070	3,070	5,640	4,820	6,390	5,650	7,950
Referência	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
R1	1,556	1,428	1,884	1,614	0,614	1,128	0,964	1,278	1,130	1,590
R2	0,192	0,155	0,275	0,208	0,212	0,052	0,016	0,107	0,053	0,201

Tabela B2: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecológica retrospectiva para o município de Bom Reposo.

LoE Ecológica - Dados Históricos: Resende 2008										
Nitrato (mg/L)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	0,056	0,030	0,033	0,071	0,248	0,027	0,027	0,018	0,129	0,070
Referência	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
R1	0,006	0,003	0,003	0,007	0,025	0,003	0,003	0,002	0,013	0,007
R2	1,803	2,020	1,990	1,721	1,284	2,049	2,055	2,203	1,512	1,723
Nitrito (µg/L)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	2,11	4,00	2,05	2,91	2,06	1,93	3,93	1,85	3,700	2,080
Referência	1.000,000	1.000,000	1.000,000	1.000,000	1.000,000	1.000,000	1.000,000	1.000,000	1.000,000	1.000,000
R1	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002
R2	1,338	1,199	1,344	1,268	1,343	1,357	1,203	1,366	1,945	2,146
Nitrogênio Orgânico Total (mg/L)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	0,420	0,470	0,233	2,290	0,093	0,750	0,513	1,170	0,187	0,930
Referência	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180
R1	0,193	0,216	0,107	1,050	0,043	0,344	0,235	0,537	0,086	0,427
R2	0,715	0,666	0,971	0,021	1,370	0,463	0,628	0,270	1,067	0,370

Tabela B2: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecológica retrospectiva para o município de Bom Repouso.

LoE Ecológica - Dados Históricos: Resende 2008										
Fósforo Total (mg/L)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	0,046	0,075	0,051	0,317	0,032	0,019	0,401	0,033	0,037	0,023
Referência	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
R1	0,464	0,7479	0,5144	3,1719	0,3162	0,1946	4,0068	0,3293	0,3652	0,2343
R2	0,333	0,126	0,289	0,501	0,500	0,711	0,603	0,482	0,437	0,630
Risco Combinado										
R3	- 4,729	- 4,684	- 5,441	- 4,335	- 5,767	- 5,635	- 4,939	- 4,959	- 5,618	- 5,682
R4	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
R5	- 0,591	- 0,585	- 0,680	- 0,542	- 0,721	- 0,704	- 0,617	- 0,620	- 0,702	- 0,710
R6	0,744	0,740	0,791	0,713	0,810	0,802	0,759	0,760	0,802	0,805

Tabela B3: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecológica retrospectiva para o município de Bom Repouso

LoE Ecológica Adaptada - Dados Históricos: Resende 2008										
pH										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	6,420	7,790	6,700	7,700	6,520	6,520	5,700	5,380	6,230	6,410
Referência	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
R1	0,856	1,039	0,893	1,027	0,869	0,869	0,760	0,717	0,831	0,855
R2	0,068	0,016	0,049	0,011	0,061	0,061	0,119	0,144	0,081	0,068
Condutividade (µS/cm)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	12,00	20,00	21,00	25,33	62,67	55,00	13,00	15,33	21,00	22,00
Referência	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
R1	1,905	3,175	3,333	4,021	9,948	8,730	2,063	2,433	3,333	3,492
R2	0,280	0,502	0,523	0,604	0,998	0,941	0,315	0,386	0,523	0,543
OD (mg/L)										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Coleta	7,780	7,140	9,420	8,070	3,070	5,640	4,820	6,390	5,650	7,950
Referência	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
R1	1,556	1,428	1,884	1,614	0,614	1,128	0,964	1,278	1,130	1,590
R2	0,192	0,155	0,275	0,208	0,212	0,052	0,016	0,107	0,053	0,201
Risco Combinado										
R3	- 0,539	- 0,673	- 0,847	- 0,824	- 1,270	- 1,054	- 0,450	- 0,637	- 0,657	- 0,813
R4	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
R5	- 0,180	- 0,224	- 0,282	- 0,275	- 0,423	- 0,351	- 0,150	- 0,212	- 0,219	- 0,271
R6	0,339	0,403	0,478	0,469	0,623	0,555	0,292	0,387	0,396	0,464

Tabela B4: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecotoxicológica retrospectiva para o município de Bom Repouso.

LoE Ecotoxicológica - Dados Históricos: Resende 2008										
<i>D. similis</i>										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Dados mortandade (%)	25	5	0	100	0	80	0	9,52	35	5
R1	0,25	0,05	0	1	0	0,8	0	0,0952	0,35	0,05
R2	-	-	-	1,000	-	0,789	-	0,048	0,133	-
<i>C. silvestri</i>										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
Dados mortandade (%)	90	100	70	0	N.R.	100	N.R.	100	60	100
R1	0,9	1	0,7	0	-	1	-	1	0,6	1
R2	-	-	-	-	-	1,000	-	1,000	-	1,000
Risco Combinado										
R1 (D. similis)	-	-	-	8,978	-	0,677	-	0,021	0,062	-
R1 (C. silvestri)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R2	-	-	-	4,49	-	0,34	-	0,01	0,03	-
R3	-	-	-	1,000	-	0,541	-	0,024	0,069	-

Tabela B5: Cálculo do risco retrospectivo integrado para o município de Bom Repouso.

Integração das LoE - Dados Históricos: Resende 2008										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
X LoE Química	-	-	0,167	0,007	-	-	0,959	0,006	-	0,017
X LoE Ecológica	0,744	0,740	0,791	0,713	0,810	0,802	0,759	0,760	0,802	0,805
X LoE Ecotoxicológica	-	-	-	1,000	-	0,541	-	0,024	0,069	-
R1 Química	-	-	- 0,079	- 0,003	-	-	- 1,387	- 0,003	-	- 0,008
R1 Ecológica	- 0,591	- 0,585	- 0,680	- 0,542	- 0,721	- 0,704	- 0,617	- 0,620	- 0,702	- 0,710
R1 Ecotoxicológica	-	-	-	- 4,489	-	- 0,338	-	- 0,011	- 0,031	-
R2	- 0,197	- 0,293	- 0,253	- 1,678	- 0,240	- 0,348	- 0,668	- 0,211	- 0,244	- 0,239
R3	0,365	0,490	0,442	0,979	0,425	0,551	0,785	0,385	0,430	0,424

Tabela B6: Cálculo do risco retrospectivo integrado adaptado para o município de Bom Repouso.

Integração das LoE Adaptada - Dados Históricos: Resende 2008										
Ponto:	P1		P2		P3		P4		P5	
	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08	jan/08	jul/08
X LoE Química	-	-	0,167	0,007	-	-	0,959	0,006	-	0,017
X LoE Ecológica	0,339	0,403	0,478	0,469	0,623	0,555	0,292	0,387	0,396	0,464
X LoE Ecotoxicológica	-	-	-	1,000	-	0,541	-	0,024	0,069	-
R1 Química	-	-	- 0,079	- 0,003	-	-	- 1,387	- 0,003	-	- 0,008
R1 Ecológica	- 0,180	- 0,224	- 0,282	- 0,275	- 0,423	- 0,351	- 0,150	- 0,212	- 0,219	- 0,271
R1 Ecotoxicológica	-	-	-	- 4,489	-	- 0,338	-	- 0,011	- 0,031	-
R2	- 0,060	- 0,112	- 0,120	- 1,589	- 0,141	- 0,230	- 0,512	- 0,075	- 0,083	- 0,093
R3	0,129	0,228	0,242	0,974	0,277	0,411	0,693	0,159	0,175	0,192

ANEXO C

Tabela C1: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Química para abril/2014 no município de Bom Repouso.

LoE Química - Coleta: Abril 2014					
Ferro (mg/L Fe)					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
R1 (Coleta)	0,422	0,214	0,165	0,553	0,200
R2 (Referência)	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
R3	0,703	0,357	0,275	0,922	0,333
R4	0,413	0,263	0,216	0,480	0,250
R5	-	-	-	0,114	-
Manganês (mg/L Mn)					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
R1 (Coleta)	0,004	0	0	0,027	0
R2 (Referência)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
R3	0,020	-	-	0,135	-
R4	0,020	-	-	0,119	-
R5	-	-	-	0,101	-
Chumbo (mg/L Pb)					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
R1 (Coleta)	0,45	0,19	0,43	0,19	0,14
R2 (Referência)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
R3	45,000	19,000	43,000	19,000	14,000
R4	0,978	0,950	0,977	0,950	0,933
R5	-	-	-	-	-
Cobre (mg/L Cu)					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
R1 (Coleta)	0	0	0,006	0	0
R2 (Referência)	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
R3	-	-	0,067	-	-
R4	-	-	0,063	-	-
R5	-	-	0,063	-	-
Zinco (mg/L Zn)					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
R1 (Coleta)	0,076	0,072	0,071	0,179	0,064
R2 (Referência)	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
R3	0,211	0,200	0,197	0,497	0,178
R4	0,174	0,167	0,165	0,332	0,151
R5	-	-	-	0,191	-

Tabela C1: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Química para abril/2014 no município de Bom Repouso.

LoE Química - Coleta: Abril 2014					
Cádmio (mg/L Cd)					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
R1 (Coleta)	0,085	0,092	0,067	0,101	0,096
R2 (Referência)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
R3	85,000	92,000	67,000	101,000	96,000
R4	0,988	0,989	0,985	0,990	0,990
R5	-	0,075	-	0,157	0,113
Cromo (mg/L Cr)					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
R1 (Coleta)	0	0	0	0	0
R2 (Referência)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
R3	-	-	-	-	-
R4	-	-	-	-	-
R5	-	-	-	-	-
Risco Combinado					
R6	-	0,075	0,063	0,318	0,113

Tabela C2: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecológica para abril/2014 no município de Bom Repouso

LoE Ecológica - Coleta: Abril 2014					
pH					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
Coleta	5,830	5,680	6,455	4,740	5,500
Referência	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
R1	0,777	0,757	0,861	0,632	0,733
R2	0,109	0,121	0,065	0,199	0,135
Condutividade (µS/cm)					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
Coleta	10,00	17,00	35,00	11,00	23,00
Referência	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
R1	1,587	2,698	5,556	1,746	3,651
R2	0,201	0,431	0,745	0,242	0,562
OD (mg/L)					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
Coleta	10,100	10,300	8,360	9,610	8,470
Referência	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
R1	2,020	2,060	1,672	1,922	1,694
R2	0,305	0,314	0,223	0,284	0,229
Risco Combinado					
R3	- 0,615	- 0,866	- 1,033	- 0,725	- 0,926
R4	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
R5	- 0,205	- 0,289	- 0,344	- 0,242	- 0,309
R6	0,376	0,485	0,547	0,427	0,509

Tabela C3: Cálculo de risco para a Linha de Evidência Ecotoxicológica para abril/2014 no município de Bom Repouso.

LoE Química - Coleta: Abril 2014					
<i>D. similis</i>					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
Dados mortandade (%)	0	0	20	5	10
R1	0	0	0,2	0,05	0,1
R2	-	-	0,200	0,050	0,100
<i>C. silvestri</i>					
Ponto:	P1	P2	P3	P4	P5
Dados mortandade (%)	60	0	50	40	0
R1	0,6	0	0,5	0,4	0
R2	-	-	-	-	-
Risco Combinado					
R1 (D. similis)	-	-	0,097	0,022	0,046
R1 (C. silvestri)	-	-	-	-	-
R2	-	-	0,10	0,01	0,02
R3	-	-	0,200	0,025	0,051

Tabela C4: Cálculo do risco de abril/2014 integrado para o município de Bom Repouso.

Integração das LoE - Coleta: Abril 2014					
Ponto:	1	2	3	4	5
X LoE Química	-	0,075	0,063	0,318	0,113
X LoE Ecológica	0,162	0,221	0,257	0,188	0,234
X LoE Ecotoxicológica	-	-	0,200	0,025	0,051
R1 Química	-	0,034	0,028	0,166	0,052
R1 Ecológica	0,077	0,108	0,129	0,091	0,116
R1 Ecotoxicológica	-	-	0,097	0,011	0,023
R2	0,026	0,047	0,085	0,089	0,064
R3	0,057	0,103	0,177	0,186	0,136

ANEXO D

Relatório do teste paramétrico anova

One Way Analysis of Variance

Data source: Teste Agudo

Dependent Variable: Imobilidade/Mortandade

Normality Test: Failed (P < 0,050)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,127)

Group Name	N	Missing Mean		Std Dev SEM	
Controle4	0	0,250	0,500	0,250	
P1	4	0,000	0,000	0,000	
P2	4	0,000	0,000	0,000	
P3	4	5,000	0,000	0,000	
P4	4	0,250	0,500	0,250	
P5	4	0,500	0,577	0,289	

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	5	77,500	15,500	111,600	<0,001
Residual	18	2,500	0,139		
Total	23	80,000			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001).

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Multiple Comparisons versus Control Group (Dunnett's Method) :

Comparisons for factor: **Ponto de Coleta**

Comparison	Diff of Means		q'	P	P<0,050
Controle vs. P3	4,750	18,025	--	Yes	
Controle vs. P1	0,250	0,949	--	No	
Controle vs. P2	0,250	0,949	--	Do Not Test	
Controle vs. P5	0,250	0,949	--	Do Not Test	
Controle vs. P4	0,000	0,000	--	Do Not Test	

One Way Analysis of Variance

Data source: Teste Crônico

Dependent Variable: Imobilidade/Mortalidade

Normality Test: Failed (P < 0,050)

Equal Variance Test: Failed (P < 0,050)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
Controle	10	0	0,000	0,000	0,000
P1	10	0	0,600	0,516	0,163
P2	10	0	0,000	0,000	0,000
P3	10	0	0,500	0,527	0,167
P4	10	0	0,400	0,516	0,163
P5	10	0	0,000	0,000	0,000

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	5	3,950	0,790	5,844	<0,001
Residual	54	7,300	0,135		
Total	59	11,250			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,974

Multiple Comparisons versus Control Group (Dunnett's Method) :

Comparisons for factor: **Col 1**

Comparison	Diff of Means	q'	P	P<0,050
Controle vs. P1	0,600	3,649	--	Yes
Controle vs. P3	0,500	3,041	--	Yes
Controle vs. P4	0,400	2,433	--	No
Controle vs. P2	0,000	0,000	--	Do Not Test
Controle vs. P5	0,000	0,000	--	Do Not Test