

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área
Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e
Costeira Adjacente**

RELATÓRIO ANUAL 2021

PMBA/Fest-RRDM

MATRIZ DE RESULTADOS

AMBIENTES DULCÍCOLA, COSTEIRO E MARINHO

RT-39F RRDM / FEV22

Vitória, ES

Fevereiro de 2022

COORDENAÇÕES

Ambiente Dulcícola

Jorge Abdala Dergam dos Santos (UFV)

Ambientes Marinho e Costeiro

Fabian Sá (UFES)

Anexo 1

Camila de Martinez Gaspar Martins (FURG)

Subprojetos

Camila de Martinez Gaspar Martins (FURG)

Juliana Zomer Sandrini (FURG)

Marta Marques de Souza (FURG)

Anexo 3

Daniel Rigo (UFES)

Paulo Sergio Salomon (UFRJ)

Subprojetos

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Alex Cardoso Bastos (UFES)

Ana Cristina Teixeira Bonecker (UFRJ)

Antônio Sérgio Ferreira Mendonça (UFES)

Daniel Rigo (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Fabian Sá (UFES)

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Leila Lourdes Longo (UFRB)

Luiz Fernando Loureiro Fernandes (UFES)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Renato David Ghisolfi (UFES)

Renato Rodrigues Neto (UFES)

Rodrigo Leão de Moura (URFJ)

Paulo Sergio Salomon (UFRJ)

Valéria da Silva Quaresma (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Valquíria Ferreira Dutra (UFES)

Vânia Marcia Duarte Pasa (UFMG)

Anexo 4

Jacqueline Albino (UFES)

Subprojetos

Jacqueline Albino (UFES)

Karla Costa (UFES)

Maria Tereza Carneiro (UFES)

Anexo 5

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

Anexo 6

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Subprojetos

Aginaldo Silva Martins (UFES)

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Leandro Bugoni (FURG)

Sarah Vargas (UFES)

Anexo 7

Maurício Hostim Silva (UFES)

Tomas Hrbek (UFAM)

Subprojetos

Carlos W. Hackradet (UFSB)

Fabiana Felix Hackradet (UFSB)

Jean-Christophe Joyeux (UFES)

Jorge Abdala Dergam dos Santos (UFV)

Maurício Hostim Silva (UFES)

Tomas Hrbek (UFAM)

Anexo 8

Heitor Evangelista (UERJ)

Coordenação Técnico-Científica (CTEC)

Adalto Bianchini

Lara Gabriela Magioni Santos

Laura Silveira Vieira Salles

Tarcila Franco Menandro

Escritório de Projetos (EscPro)

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Patrícia Bourguignon Soares

Anna Paula Lage Ribeiro

Caroline De Marchi Pignaton

Karla Pereira Rainha

Kennedy Gera Nishio

Luiz Otavio da Cruz de Oliveira Castro

Petrusca Mello Costa Filha

Sidnei Vieira

Walter Luiz Alda Júnior

Wanessa da Costa Cruz

Núcleo de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (NADEC)

Alex Cardoso Bastos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	METODOLOGIA	11
2.1	LISTA DE IMPACTOS	11
2.2	QUANTIFICAÇÃO DA MATRIZ DE RESULTADOS	13
2.3	ESPACIALIZAÇÃO DOS RESULTADOS E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS IMPACTADAS	16
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1	IMPACTOS E SUAS CARACTERÍSTICAS	17
3.2	ESPACIALIZAÇÃO DOS IMPACTOS	48
3.3	ANÁLISE COMPARATIVA DAS MATRIZES DE RESULTADOS APRESENTADAS NO RA2020 E NO RA2021	58
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
5	REFERÊNCIAS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma das principais etapas (linhas em preto) e produtos (linhas em vermelho) do processo de construção da Matriz de Resultados do PMBA/Fest-RRDM.....	11
Figura 2: Gráfico de distribuição dos impactos por critérios para a Matriz de Resultados do Ambiente Dulcícola.....	24
Figura 3: Gráfico de distribuição dos impactos por critérios para a Matriz de Resultados do Ambiente Costeiro.	25
Figura 4: Gráfico de distribuição dos impactos por critérios para a Matriz de Resultados do Ambiente Marinho.....	25
Figura 5: Gráficos representando a consolidação dos impactos considerando-se todos os Ambientes estudados.....	27
Figura 6: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Sedimentologia (6 impactos negativos e 0 impactos nulos).	29
Figura 7: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Química (30 impactos negativos e 6 impactos nulos).	30
Figura 8: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Ecotoxicologia (14 impactos negativos e 6 impactos nulos).	31
Figura 9: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Ecologia (41 impactos negativos e 61 impactos nulos).....	32
Figura 10: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Genética (6 impactos negativos e 0 impactos nulos).	33
Figura 11: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Saúde (16 impactos negativos e 28 impactos nulos).	34
Figura 12: Gráfico representando os impactos de forma consolidada para o Ambiente Marinho para a categoria Comportamento. Esta categoria está presente apenas no Ambiente Marinho (6 impactos negativos e 0 impactos nulos).....	35
Figura 13: Gráficos representando a distribuição dos impactos por Ambiente para as classificações do critério Nível Ambiental/Trófico.	36
Figura 14: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente, considerando-se a matriz Água (11 impactos negativos e 0 impactos nulos).....	37

Figura 15: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente, considerando-se a matriz Sedimento (12 impactos negativos e 2 impactos nulos).....	38
Figura 16: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente, considerando-se a matriz Plâncton: Fitoplâncton, Ictioplâncton e Zooplâncton (23 impactos negativos e 22 impactos nulos).	39
Figura 17: Gráficos representando a distribuição dos impactos por Ambiente para as classificações do critério Relação com Rompimento.	41
Figura 18: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para aqueles impactos classificados com os critérios de Definição Alta e Relação Direta ou Indireta com o Rompimento.	43
Figura 19: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para aqueles impactos classificados com critério de Relação Direta com Rompimento para o Meio Abiótico ou Biótico.	43
Figura 20: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para aqueles impactos classificados na ponderação total como Críticos (faixa de -21 a -17) (n = 29).	45
Figura 21: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para aqueles impactos no Meio Biótico classificados com o critério de Relação Direta com Rompimento e como Críticos na ponderação total (faixa de -21 a -17) (n = 26).	47
Figura 22: Identificação dos principais agrupamentos de impactos indicados na Matriz de Resultados (Definição Alta e Relação Direta ou Indireta com o rompimento da barragem).	49
Figura 23: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Dulcícola considerando-se os impactos com pontuação máxima para o critério Definição, e Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição e Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 2).	50
Figura 24: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Dulcícola considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 2).	51
Figura 25: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Costeiro considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima	

para o critério Definição, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 2)..... 52

Figura 26: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Costeiro considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 2). 53

Figura 27: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Marinho considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 1), bem como **os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição**, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 2)..... 54

Figura 28: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Marinho considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 2). 55

Figura 29: Mapa de identificação de áreas impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão no âmbito do PMBA/Fest-RRDM. 57

Figura 30: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Sedimentologia na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 5 não nulos, 0 nulos; RA 2021 = 6 não nulos, 0 nulos). 60

Figura 31: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Química na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 33 não nulos, 4 nulos; RA 2021 = 30 não nulos, 6 nulos)..... 61

Figura 32: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Ecotoxicologia na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 14 não nulos, 2 nulos; RA 2021 = 14 não nulos, 6 nulos)..... 62

Figura 33: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Ecologia na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 30 não nulos, 20 nulos; RA 2021 = 41 não nulos, 61 nulos)..... 63

Figura 34: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Genética na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 4 não nulos, 0 nulos; RA 2021 = 6 não nulos, 0 nulos). 64

Figura 35: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Saúde na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 9 não nulos, 7 nulos; RA 2021 = 16 não nulos, 28 nulos)..... 65

Figura 36: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Comportamento na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 1 não nulo, 0 nulos; RA 2021 = 6 não nulos, 0 nulos).66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Sumarização das informações quanto aos Critérios utilizados para quantificar o cruzamento dos agrupamentos de impactos com compartimentos abióticos e bióticos nos Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho.	15
Quadro 2: Faixa de valores das classificações dos critérios.	16
Quadro 3: Distribuição das Categorias e Agrupamentos observados na construção da Matriz de Resultados do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA/Fest-RRDM), considerando-se os diferentes Ambientes estudados (Dulcícola, Costeiro e Marinho).	18
Quadro 4: Representação da Matriz de Resultados para o Ambiente Dulcícola. Número de interações (linha x coluna) com análise dos impactos, descartando-se os impactos nulos ($n = 35$).	20
Quadro 5: Representação da Matriz de Resultados para o Ambiente Costeiro. Número de cruzamentos (linha x coluna) com análise dos impactos, descartando-se os impactos nulos ($n = 20$).	21
Quadro 6: Representação da Matriz de Resultados para o Ambiente Marinho. Número de cruzamentos (linha x coluna) com análise dos impactos, descartando-se os impactos nulos ($n = 64$).	23

1 INTRODUÇÃO

As atividades do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I gerenciadas pela Fundação Espírito-santense de Tecnologia e executadas pela Rede Rio Doce Mar, no âmbito do TR4 (PMBA/Fest-RRDM), incluem o monitoramento de parâmetros/indicadores abióticos e bióticos, sempre com o objetivo de entender as alterações espaciais e temporais na qualidade e na biodiversidade dos ambientes dulcícola, costeiro e marinho.

Para tanto, o conceito de impacto utilizado pelo PMBA/Fest-RRDM é aquele definido no Artigo 1º da Resolução n.º 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Conforme esta legislação, **Impacto Ambiental** é *"qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetem diretamente ou indiretamente: A saúde, a segurança e o bem estar da população; As atividades sociais e econômicas; A biota; As condições estéticas e sanitárias ambientais; A qualidade dos recursos ambientais"*. O princípio básico é que sejam produzidas alterações no meio ambiente induzidas pela ação humana ou em decorrência das suas atividades, afetando assim a biodiversidade, os recursos naturais e os serviços ecossistêmicos. Tais alterações geram uma ameaça à saúde, segurança e atividades sociais e econômicas e são sob o ponto de vista ambiental, insustentáveis.

Pelo segundo ano consecutivo, a RRDM elabora e apresenta uma Matriz de Resultados, construída a partir da adaptação de uma Matriz de Interação (Leopold et al 1971), a qual é amplamente utilizada em Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) no Brasil. Desta forma, a RRDM busca, de uma forma complementar e integrativa, apresentar os resultados da avaliação espacial e temporal dos impactos diretos ou indiretos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG). O processo de construção da Matriz de Resultados 2021 da RRDM considerou os apontamentos realizados pelo Instituto Ekos, na forma de *peer review*, quanto às considerações desta consultora da Fundação Renova durante o processo de avaliação da primeira versão da Matriz de Resultados referente ao Relatório Anual de 2020 (RRDM, 2020).

Apesar do conceito da elaboração da Matriz de Resultados ter sido baseado inicialmente na Matriz de Interação proposta por Leopold et al (1971), a matriz alcançada pela RRDM se diferencia em muitos pontos de seu modelo original e utiliza ainda outros métodos e análises em sua construção final. Diferentemente de uma matriz de impacto, que é um modelo de previsão que leva à indicação de ações que subsidiarão as atividades e ações visando monitorar e mitigar os impactos que ainda poderão ser causados por um empreendimento, o conceito aplicado na presente Matriz de Resultados volta-se à apresentação e análise do conjunto de impactos, resultados e critérios observados nos três anos de execução do PMBA/Fest-RRDM.

Dessa forma, o objetivo da presente Matriz de Resultados é avaliar, a partir das contribuições dos pesquisadores que conduziram os estudos específicos do PMBA/Fest-RRDM, os impactos que ocorreram ou que ainda ocorrem em diferentes compartimentos (abiótico e biótico) e que afetaram ou

ainda afetam os diferentes níveis tróficos das cadeias alimentares dos ecossistemas estudados no âmbito do referido programa de monitoramento. Para tal, foram usados critérios baseados tanto em matrizes de interação (Leopold et al, 1971; Glasson et al. 2005), quanto na experiência dos pesquisadores envolvidos durante a execução do PMBA/Fest-RRDM. A relação de professores/pesquisadores e demais colaboradores envolvidos nos projetos técnico-científicos que fazem parte do PMBA/RRDM-Fest e que, consequentemente, contribuíram ativamente na elaboração da lista de impactos, a partir da qual foi produzida a presente Matriz de Resultados, está apresentada no Sumário Executivo que compõe o RA2021.

Dessa forma, foi possível, a partir de um impacto/alteração reconhecido, definir como esse impacto/alteração se distribuiu nas matrizes água, sedimento e organismos, bem como nos diferentes níveis tróficos. Além disso, a Matriz de Resultados apresentada mostra a distribuição espacial, a referência da análise (critérios), a persistência, o caráter, dentre outros atributos dos impactos/alterações observados. Logo, a análise realizada pôde ser apresentada por ambiente estudado ou comparativamente entre estes ambientes. A quantificação dos impactos, com base nos critérios estabelecidos para a construção da Matriz de Resultados do Relatório Anual de 2021 (PMBA/Fest-RRDM), foi realizada por um grupo *ad hoc* de professores/pesquisadores com grande experiência em suas respectivas áreas de atuação, sendo eles:

- Adalto Bianchini (<http://lattes.cnpq.br/6478091924064864>)
- Fabian Sá (<http://lattes.cnpq.br/9329106914297651>)
- Jorge Abdala Dergam dos Santos (<http://lattes.cnpq.br/9689232521185124>)

A Matriz de Resultados foi utilizada para uma avaliação macro, ou seja, as principais respostas ou variações de critérios de análise são apresentadas para cada ambiente ou para cada categoria de impacto, e não para cada nível trófico, sendo este utilizado como critério (ver descrição critério Nível Ambiental/Trófico - Nat).

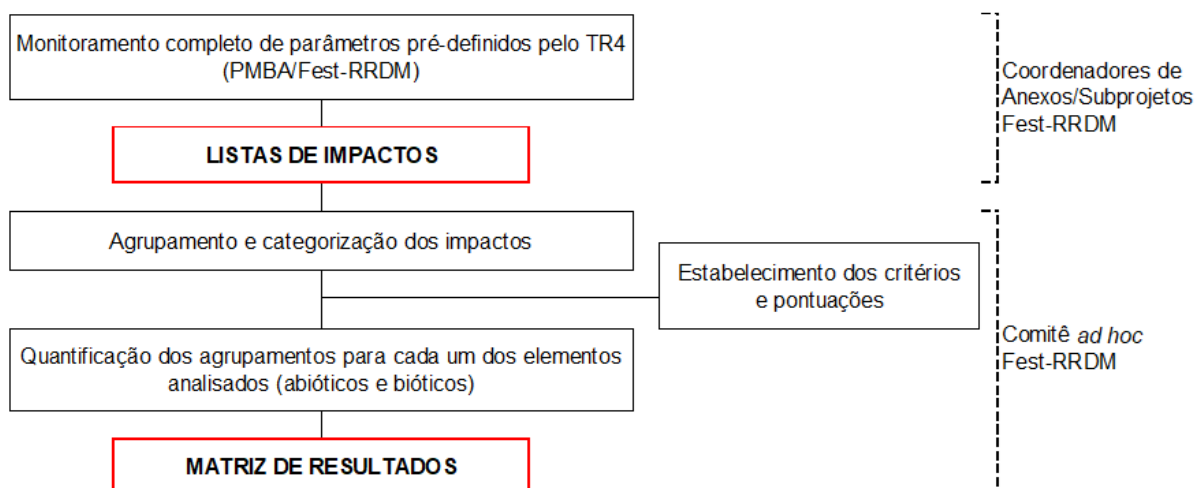
Tendo em vista a caracterização dos impactos ao longo dos três anos de atuação do PMBA/Fest-RRDM, bem como sua distribuição ao longo da área monitorada durante este período, foi possível a compreensão do comportamento do impacto ao longo do tempo e no espaço. Adicionalmente, é apresentada uma avaliação espacial como desdobramento da Matriz de Resultados, visando apontar os compartimentos/setores impactados nos três ambientes estudados.

Cabe destacar que o uso de matrizes de interação, como a apresentada neste relatório, permite apresentar de forma clara e sistematizada os principais resultados do PMBA/Fest-RRDM, de modo que todas as instituições interessadas e a sociedade possam usufruir dos resultados obtidos a partir do trabalho realizado.

2 METODOLOGIA

Como mencionado anteriormente, a metodologia de avaliação dos impactos ambientais tem como base a Matriz de Leopold (Leopold et al, 1971). Porém, foram realizadas as devidas adaptações para o enquadramento da mesma no escopo do PMBA/Fest-RRDM, uma vez que sua aplicação decorre após a ocorrência de impacto agudo e durante a ação do impacto crônico associado ao rompimento da Barragem de Fundão, e não anterior ao evento em questão, como se observa para a matriz originalmente proposta por Leopold e colaboradores. A Matriz de Resultados proposta para os resultados do PMBA/Fest-RRDM também leva em consideração um número maior de atributos/critérios e é produzida a partir de uma lista de impactos pré-definida, com base na resposta de parâmetros e indicadores monitorados ao longo de três anos de estudos (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma das principais etapas (linhas em **preto**) e produtos (linhas em **vermelho**) do processo de construção da Matriz de Resultados do PMBA/Fest-RRDM.



Para uma análise aderente à estrutura organizacional e operacional do PMBA/Fest-RRDM, foram desenvolvidas três Matrizes de Resultados, uma para cada ambiente estudado (Dulcícola, Costeiro e Marinho). A matriz gerada para cada ambiente representa uma análise quantitativa, com base nos impactos e critérios, em que o cruzamento entre as linhas e colunas apresentam um número referente a esta análise. Entretanto, haja vista as especificidades de cada um dos ambientes, para que pudesse ser feita uma comparação entre eles, foi realizada uma análise qualitativa, ou seja, foi avaliado o comportamento dos valores (por exemplo, tendências de aumento ou diminuição, maiores e menores valores) e não o valor bruto propriamente dito.

2.1 LISTA DE IMPACTOS

A definição de uma lista de impactos ou alterações observadas a partir dos parâmetros/indicadores foi produzida de forma *ad hoc*, em que o conjunto de coordenadores/pesquisadores de cada

Anexo/Subprojeto constituinte do PMBA/Fest-RRDM definiu os impactos observados no âmbito do seu tema específico, a partir da sistematização de suas análises e interpretações.

Para este fim, e buscando dar robustez às análises executadas e suas relações com possíveis alterações ou impactos observados, foram estabelecidas referências básicas, desde o primeiro relatório apresentado em 2019, a partir das quais as alterações ou impactos puderam ser caracterizados. A definição das referências vem sendo usada para apontar a origem do processo de análise de impacto, ou seja, como se chegou a um conceito de que o ambiente está alterado ou impactado, e se a biodiversidade apresenta alguma resposta biológica/ecológica em diferentes níveis tróficos, a depender do critério avaliado.

As referências foram definidas conforme o conjunto de dados e informações utilizadas pelos pesquisadores da RRDM, considerando a comparação entre resultados obtidos pelo PMBA/Fest-RRDM e: **(A)** dados pretéritos ao rompimento da barragem de Fundão; **(B)** dados posteriores ao rompimento da barragem de Fundão identificados na área de atuação da RRDM, mas anteriores ao início da atuação do PMBA/Fest-RRDM; **(C)** em forma de análise espacial entre estações amostrais impactadas e não impactadas; **(D)** a correlação direta com a presença de metais característicos do rejeito; **(E)** dados disponíveis na literatura científica; **(F)** valores orientadores da legislação nacional vigente; e **(G)** valores orientadores internacionais. Além destes, a partir do Relatório Anual de 2021, foi estipulado o critério **(H)**, que considera a comparação entre os resultados obtidos ao longo da execução do PMBA/Fest-RRDM, visando a abordagem de análise temporal de todo o conjunto de dados gerados nos três anos de execução do referido programa de monitoramento.

Além da identificação dos impactos observados, a lista elaborada pelas equipes técnicas do PMBA/Fest-RRDM detalha as informações sobre o nível organizacional atingido (meio abiótico, indivíduo, população comunidade ou ecossistema), a matriz ambiental (água, sedimento ou biota) utilizada nas análises, a relação do impacto com o rompimento da barragem de Fundão (direta, indireta ou sem relação definida ainda), bem como sua abrangência espacial (pontual, local ou regional) e temporal (sazonal ou constante).

A relação com o rompimento da barragem de Fundão foi estabelecida após uma avaliação técnica cuidadosa, a qual foi realizada pelos coordenadores de Anexos/Subprojetos, responsáveis pelas análises executadas no âmbito do PMBA/Fest-RRDM. As avaliações consideraram uma relação direta quando é possível afirmar que o impacto é decorrente diretamente da passagem do material oriundo do rompimento da barragem ou está associado à presença do rejeito no ambiente. A relação indireta foi estabelecida quando não é possível afirmar que o impacto foi influenciado diretamente pela passagem do material oriundo do rompimento da barragem ou pela presença do rejeito no ambiente, mas sim de forma secundária/indireta ou quando é parte de uma cadeia de reações. Por sua vez, quando não é possível afirmar que o impacto é decorrente da passagem do material oriundo do rompimento da barragem ou não está associado à presença do rejeito no ambiente, foi estabelecido que o impacto não possui ainda uma relação definida.

Os impactos listados foram então organizados em agrupamentos pelo comitê *ad hoc* do PMBA/Fest-RRDM, de acordo com as principais características destes agrupamentos, através de discussões interdisciplinares. Essa metodologia permite que as informações sejam analisadas de acordo com os agrupamentos, de modo a sistematizar os impactos observados, baseando-se em palavras-chaves semelhantes, por sua vez identificadas na descrição dos impactos. Além disso, o agrupamento visou representar categorias mais objetivas e transversais aos Ambientes, e não mais definidas de acordo com as equipes de pesquisa que observaram os impactos.

Embora a lista de impactos seja diferente para cada ambiente, os agrupamentos de impactos identificados pelo PMBA/Fest-RRDM, ao longo de toda a área monitorada, foram organizados em categorias, que correspondem a temas transversais que podem se repetir entre os Ambientes.

2.2 QUANTIFICAÇÃO DA MATRIZ DE RESULTADOS

A Matriz de Resultados do Relatório Anual 2021 (PMBA/Fest-RRDM) é uma matriz de interação e funciona como uma listagem de controle bidimensional, dispondo ao longo de seus eixos vertical e horizontal, respectivamente, os agrupamentos de impactos organizados em categorias e os compartimentos ambientais que foram afetados, sejam eles abióticos ou bióticos. Os compartimentos ambientais foram estabelecidos de acordo com as matrizes identificadas na lista de impactos e variaram entre os três Ambientes, de acordo com as especificidades dos resultados de cada um deles. A interseção das linhas e colunas resultam em células, nas quais são apresentados os valores finais do impacto, após o somatório dos valores apresentados para cada um dos critérios.

Para a interpretação, classificação e valoração dos agrupamentos de impactos, foi realizada uma análise minuciosa das informações obtidas, com base em critérios preestabelecidos pelo comitê *ad hoc* da Fest-RRDM, sendo eles: Caráter (Ca), Definição (Def), Abrangência Espacial (Ab), Nível Ambiental/Trófico (Nat), Duração (D) e Reversibilidade (R). Para cada um destes critérios, foi determinado um valor à sua classificação, referente ao impacto, da seguinte forma:

Caráter (Ca) – caracteriza o efeito do impacto no ambiente.

- Negativo (-1): efeito negativo entre os fatores associados;
- Nulo (0): não há relação entre os fatores associados;
- Positivo (1): efeito positivo entre os fatores associados.
- Células em branco ou com “–”, representam que o impacto não se aplica ou que o impacto não foi avaliado para aquele compartimento.

Definição (Def) – é atribuída à referência através da qual o impacto foi identificado (A, B, C, D, E, F, G e/ou H).

- Alta (3): o impacto se baseia em referências que utilizam dados coletados na região do impacto ou que possuem correlação com os principais metais encontrados no rejeito da barragem, ou seja, A, B e/ou D;
- Média (2): o impacto se baseia em referências de controle propostas por organizações especializadas, ou seja, F e/ou G;
- Baixa (1): o impacto se baseia em referências que utilizam dados equivalentes para comparação ou que foram coletados após 3 anos do rompimento da barragem, ou seja, C, E e/ou H.

Abrangência Espacial (Ab) – está relacionada à distribuição espacial do impacto. Nota-se que a área completa analisada pelo PMBA/Fest-RRDM foi dividida em setores/compartimentos formados por um conjunto de estações amostrais.

- Regional (3): verificado em mais de 1 setor estudado;
- Local (2): verificado em 1 setor estudado;
- Pontual (1): verificado em uma única estação amostral.

Nível Ambiental/Trófico (Nat) – associação do impacto aos níveis da cadeia trófica.

- Grande (3): alcançou níveis superiores da cadeia trófica (caranguejos, peixes, aves e megafauna);
- Média (2): alcançou a base da cadeia trófica (vegetação, corais, plâncton e bentos);
- Baixa (1): o efeito foi restrito ao respectivo compartimento abiótico (água e sedimento).

Duração (D) - corresponde ao tempo de permanência do impacto na área em que este se manifesta.

- Permanente (3): é sempre verificado, independente do período ou das condições existentes quando o monitoramento foi realizado;
- Recorrente (2): verificado em períodos sazonais, por exemplo, período chuvoso ou período seco;
- Transitório (1): observados em períodos com início e fim bem definidos, por exemplo, associados a eventos meteorológicos específicos.

Reversibilidade (R) – relaciona-se à possibilidade de reversão do impacto no ambiente abiótico e na biodiversidade aquática.

- Irreversível (3): se a qualidade da água e do sedimento, e consequentemente a biodiversidade aquática, não poderiam retornar aos níveis/condições aceitáveis/anteriores;
- Parcialmente Reversível (2): se a qualidade da água e do sedimento, e consequentemente a biodiversidade aquática, poderiam retornar aos níveis/condições aceitáveis embora diferentes das anteriores;

- Reversível (1): se a qualidade da água e do sedimento, e consequentemente a biodiversidade aquática, poderiam retornar aos níveis/condições aceitáveis/anteriores.

Cabe destacar e ressaltar que, no contexto da biodiversidade aquática, a reversibilidade dos impactos observados na água e no sedimento dependerá do esforço conjunto das esferas ecológica, socioeconômica e institucional (MEFFE et al, 2006), para que um grau aceitável de recomposição da biodiversidade aquática seja alcançado.

Com o intuito do aprimoramento dos produtos técnicos, e seguindo as sugestões indicadas no documento *peer review* elaborado para a Matriz de Resultados do Relatório Anual 2020 (PMBA/Fest-RRDM) pelo Instituto Ekos (EKOS 2021), além dos critérios de pontuação apresentados acima, foram inseridas informações quanto à relação com o rompimento da barragem (RR). Para esta classificação, os impactos foram organizados em Relação Direta (peso 3), Relação Indireta (peso 2) ou Sem Relação Definida Ainda (peso 1). As informações transformadas em pesos foram associadas ao valor do critério Definição, fazendo com que o mesmo possua peso diferenciado em relação aos demais atributos no somatório geral (Quadro 1).

Quadro 1: Sumarização das informações quanto aos Critérios utilizados para quantificar o cruzamento dos agrupamentos de impactos com compartimentos abióticos e bióticos nos Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho.

CRITÉRIOS	VALOR MÁXIMO	VALOR MÉDIO	VALOR MÍNIMO	PESO
Caráter (Ca)*	Negativo (-1)	Nulo (0)	Positivo (1)	-
Relação com o Rompimento (RR)	Direta (3)	Indireta (2)	Sem relação definida (1)	-
Definição (Def)	Alta (3)	Média (2)	Baixa (1)	1 a 3
Abrangência Espacial (Ab)	Regional (3)	Local (2)	Pontual (1)	1
Nível Ambiental/Trófico (Nat)	Grande (3)	Média (2)	Baixa (1)	1
Duração (D)	Permanente (3)	Recorrente (2)	Transitório (1)	1
Reversibilidade (R)	Irreversível (3)	Parcialmente Reversível (2)	Reversível (1)	1

*Células em branco ou com “-”, representam que o impacto não se aplica ou que o impacto não foi avaliado para aquele compartimento.

A quantificação da Matriz de Resultados foi realizada para cada um dos agrupamentos estabelecidos e, para isso, foi levada em consideração a característica que era observada nos impactos que compunham o agrupamento, bem como a análise conjuntural da representatividade de cada impacto no agrupamento. Quando não era possível estabelecer a característica em maioria, foi adotada uma postura conservadora na escolha dos valores de pontuação, sendo escolhida a característica com menor pontuação.

Para a quantificação da Definição, quando mais de uma referência era atribuída ao impacto, foi considerado sempre o nível mais alto de referência, tendo em vista que os níveis mais baixos corroboram o resultado observado.

A metodologia estabelecida para a classificação final dos impactos foi modificada em relação àquela adotada para a Matriz de Resultados do RA2020, em decorrência da inserção de uma nova referência (H). Com o intuito de atribuir peso e relevância aos impactos para os quais pode-se fazer associação direta ou indireta com o rompimento da barragem, foi definida a seguinte equação:

$$\text{Pontuação Total} = Ca * [(Def * RR) + Ab + Nat + D + R]$$

Onde: Ca, Def, RR, Ab, Nat, D e R são, respectivamente, os critérios: Caráter, Definição, Relação com Rompimento, Abrangência Espacial, Nível Ambiental/Trófico, Duração e Reversibilidade.

Os valores finais foram classificados nas seguintes faixas de valores no Quadro 2.

Quadro 2: Faixa de valores das classificações dos critérios.

Faixa de valores	Classificação
-5 a -8	Baixo
-9 a -12	Médio
-13 a -16	Alto
-17 a -21	Crítico

Visando a comparação da avaliação dos impactos atualmente descritos na Matriz de Resultados do RA2021 com aqueles informados na Matriz de Resultados do RA2020, foi realizada também a aplicação da metodologia adotada para a elaboração do documento anterior. Os resultados obtidos para esta metodologia estão disponíveis nos Materiais Suplementares.

Os resultados das análises realizadas para a elaboração do presente documento foram expressos sob a forma de gráficos de representação dos critérios componentes dos impactos, em formato consolidado, reunindo as informações de todos os Ambientes, bem como na forma estratificada para cada um dos Ambientes analisados.

2.3 ESPACIALIZAÇÃO DOS RESULTADOS E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS IMPACTADAS

As estações amostrais analisadas nos três ambientes analisados estão distribuídas espacialmente em setores/compartimentos que englobam áreas que apresentam características semelhantes. Para o Ambiente Dulcícola, os setores são: (1) Calha do Rio Doce, (2) Foz do Rio Doce, (3) Afluentes, (4) Lagos e (5) Lagoas. O Ambiente Costeiro está organizado nos setores: (1) Compartimento A (compreende as praias Mole, Formosa e Putiri, caracterizado pelo litoral de terraços de abrasão da Formação Barreiras), (2) Compartimento B (compreende as praias da planície sul do rio Doce e as mais próximas a desembocadura ao norte, sendo representado pelas praias Barra do Riacho, Terra Indígena, Rebio Comboios, Regência e Povoação) e (3) Compartimento C (representado pelas praias

de Degredo, Pontal do Ipiranga, Barra Nova, Guriri e Itaúnas). Já o Ambiente Marinho está representado pelos setores: (1) Sul; (2) APA Costa das Algas/REVIS Santa Cruz, (3) Foz do Rio Doce, (4) Norte e (5) Abrolhos.

Um dos objetivos do PMBA/Fest-RRDM é, dentre vários outros, reconhecer os impactos ou alterações ambientais e delimitar sua região de abrangência. Para tal, são apresentados mapas contendo os impactos (representados por números), os compartimentos abióticos e bióticos (representados por símbolos) e a sua abrangência espacial (representada pela localização do símbolo). É importante ressaltar que a localização do símbolo no mapa não representa as coordenadas geográficas das estações amostrais, mas representam apenas o Setor onde o respectivo impacto foi observado.

Para melhor visualização dos principais resultados da matriz, foram espacializados os agrupamentos de impactos referentes aos compartimentos abiótico e biótico classificados no critério Definição com o peso mais alto (3) e que apresentam Relação Direta ou Indireta com o rompimento da barragem de Fundão. Essa escolha visa dar ênfase ao que vem sendo discutido em relação aonexo causal das alterações na qualidade ambiental e respostas biológicas observadas. Porém, isso não significa que os outros pesos dados a esse critério não tenham nexocausal, uma vez que o conceito de impacto ambiental apresentado no Artigo 1º da Resolução n.º 001/86 do CONAMA refere-se ao nexocausal relacionado a qualquer atividade antrópica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 IMPACTOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

A lista inicial elaborada por todas as equipes de pesquisa que executam o PMBA/Fest-RRDM apresentou 272 impactos, sendo 71 impactos no Ambiente Dulcícola, 64 impactos no Ambiente Costeiro e 137 impactos no Ambiente Marinho. Uma análise crítica quanto à semelhança entre os impactos observados permitiu a consolidação dos mesmos em 26 agrupamentos, os quais foram organizados em sete categorias (Quadro 3). As categorias identificadas para as Matrizes de Resultados do PMBA/Fest-RRDM foram: Sedimentologia, Química, Ecotoxicologia, Ecologia, Genética, Saúde e Comportamento. Todas estas categorias foram identificadas nos três Ambientes avaliados, com exceção da categoria Comportamento, a qual está restrita aos peixes estuarinos e à megafauna e, portanto, foi identificada somente no Ambiente Marinho.

As listas de impactos compiladas por Ambiente são apresentadas nos *Materiais Suplementares MRAD, MRAC e MRAM*.

Quadro 3: Distribuição das Categorias e Agrupamentos observados na construção da Matriz de Resultados do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA/Fest-RRDM), considerando-se os diferentes Ambientes estudados (Dulcícola, Costeiro e Marinho).

CATEGORIA	AGRUPAMENTO	DULCÍCOLA	COSTEIRO	MARINHO
SEDIMENTOLOGIA	Composição sedimentar			
	Aumento da concentração do material particulado em suspensão e turbidez			
	Aumento do potencial de mobilização do fundo			
	Alterações nas características físicas da praia			
QUÍMICA	Variação das concentrações de nutrientes			
	Contaminação por compostos orgânicos			
	Contaminação por metais e metaloide			
	Alteração nos parâmetros físico-químicos			
ECOTOXICOLOGIA	Aumento nos valores de índice de resposta biológica			
	Aumento nos níveis de toxicidade			
ECOLOGIA	Aumento da concentração de clorofila-a			
	Alterações dos índices ecológicos			
	Aumento na abundância de espécies indicadoras de impacto			
	Alteração nos parâmetros reprodutivos			
	Alterações na estrutura de populações			
	Alterações na estrutura de comunidades			
	Redução da diversidade funcional de espécies			
GENÉTICA	Alteração da diversidade genética			
	Redução da diversidade filogenética			
SAÚDE	Alteração dos parâmetros de saúde e fisiologia			
	Mortalidade de organismos			
	Doenças e presença de agentes infecciosos			
	Danos morfológicos			
COMPORTAMENTO	Alteração do Uso do Habitat			
	Alteração do nicho isotópico e diversidade trófica			
	Alteração nas taxas de encalhe			

Os impactos foram identificados para os compartimentos abióticos (Água e Sedimento) e bióticos (Macrófitas, Macroalgas, Vegetação, Microbiota, Plâncton, Perifíton, Bentos, Macroinvertebrados, Caranguejo, Crustáceos, Peixes e Megafauna).

Os resultados são apresentados visando uma análise entre Ambientes, seja para comparação entre os critérios, os agrupamentos ou as categorias dos impactos observados. O número total de interações (agrupamento de impacto x compartimento impactado) obtido para os três Ambientes foi de 119 impactos negativos e 101 impactos nulos. As matrizes de interação, cruzando todos os impactos com os compartimentos ambientais, para os Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho estão disponíveis nos *Materiais Suplementares MRAD, MRAC e MRAM*, respectivamente. Por sua vez, os Quadros 2, 3 e 4 apresentam os respectivos totais da quantificação das matrizes por Ambiente, indicando ainda o número de cruzamentos entre linhas e colunas, ou seja, a distribuição de cada impacto listado nos diferentes compartimentos abióticos e bióticos.

Em todos os casos, é importante destacar que as células preenchidas com um traço (-) na Matriz de Resultado, indicam que o impacto não se aplica àquele compartimento ou não houve medição prevista no termo de referência (TR4). Por exemplo, a resposta biológica à contaminação não se aplica ao compartimento abiótico. Dessa forma, as células vazias sugerem a existência de potenciais indicadores de impacto que não foram contemplados no TR4 e que poderiam contribuir na compreensão da estrutura, composição e função ecossistêmica. Portanto, os resultados aqui apresentados podem, de certa forma, servir como subsídio/orientação para uma revisão do TR4.

No Ambiente Dulcícola, os impactos mais frequentes no compartimento abiótico foram observados na matriz Água, enquanto que nos compartimentos bióticos, o grupo mais impactado foi o de peixes, seguido por microbiota, fitoplâncton, zooplâncton e macroinvertebrados (Quadro 4). Já no Ambiente Costeiro, os impactos químicos no compartimento abiótico ficaram restritos aos sedimentos, devido ao desenho amostral adotado no âmbito do PMBA/Fest-RRDM. No que se refere aos compartimentos bióticos, os caranguejos do manguezal se apresentaram como sendo os grupos mais impactados (Quadro 5). Esse padrão pode também estar relacionado com o desenho amostral adotado no âmbito do PMBA/Fest-RRDM, onde, por exemplo, não houve medição prevista no TR4 para bioacumulação de contaminantes químicos em macrófitas. No Ambiente Marinho (Quadro 6), ambos compartimentos abióticos (água e sedimento) apresentaram-se impactados em três categorias: Sedimentologia, Química e Ecotoxicologia. No compartimento biótico do Ambiente Marinho, toda a cadeia trófica apresentou algum tipo de impacto, destacando-se os compartimentos bióticos de níveis tróficos mais elevados (peixes, tartarugas, aves e cetáceos) e os compartimentos planctônicos e bentônicos.

Conforme indicado no Quadro 4, os impactos com valores críticos (-17 a -21) para o Ambiente Dulcícola foram observados na categoria Química, sendo estes expressos pela contaminação por metais e metaloides no fitoplâncton, zooplâncton, macroinvertebrados e peixes. Este fato indica a persistência dos impactos dessa natureza em todos os níveis tróficos, ao longo dos 3 anos de monitoramento. Na categoria Ecologia, a microbiota e os peixes também apresentaram valores críticos com relação ao aumento na abundância de espécies indicadoras de impacto e na alteração da estrutura da população, respectivamente. O valor máximo foi obtido na categoria Genética para os peixes, um fato possivelmente relacionado com a perda de interconectividade ao longo da calha do Rio Doce.

Na matriz Água do Ambiente Dulcícola, foram observados valores altos (-13 a -16) nas categorias Sedimentologia e Química. Na mesma escala de valores, também foi observada a alteração de índices ecológicos para os grupos biológicos representados pelo fitoplâncton, zooplâncton e perifíton. Por sua vez, os valores observados para o aumento da abundância de espécies indicadoras de impacto e a alteração na estrutura de comunidades foram considerados altos em macrófitas e peixes, respectivamente, refletindo o avanço de espécies invasoras e introduzidas na bacia do Rio Doce.

Impactos de nível médio (-9 a -12) ocorreram em 18 interações, sendo que na categoria Química estes incluíram os seguintes impactos: variação da concentração de nutrientes e a contaminação por metais e metaloides em água e sedimentos, respectivamente. Por sua vez, a categoria Ecotoxicologia identificou o maior número de impactos deste nível nos grupos biológicos representados pelo fitoplâncton, zooplâncton, macroinvertebrados e peixes. Ainda nessa categoria de impactos, a alteração nos índices ecológicos foi considerada média em macrófitas e macroinvertebrados. A consistência desses padrões em diferentes grupos de organismos demonstra o alto grau de contaminação do Baixo Rio Doce e seus efeitos na biota aquática.

Quadro 4: Representação da Matriz de Resultados para o Ambiente Dulcícola. Número de interações (linha x coluna) com análise dos impactos, descartando-se os impactos nulos (n = 35).

Categoria	Agrupamento de Impactos	AMBIENTE DULCÍCOLA									
		Abiótico		Biótico							
		Água	Sedimento	Macrófitas	Microbiota	Fitoplâncton	Zooplâncton	Ictioplâncton	Perifíton	Macroinvertebrados	Peixes
Sedimentologia	Aumento da concentração do Material Particulado em Suspensão (MPS) e turbidez	-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Variação na concentração de nutrientes	-10	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Química	Contaminação por metais e metaloides	-16	-10	-	-	-18	-18	-	-	-18	-19
	Alteração nos parâmetros físico-químicos	-7	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecotoxicologia	Aumento nos valores de índice de resposta biológica	-	-	-	-	-9	-9	-	-	-11	-12
	Aumento nos níveis de toxicidade	-8	-12	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecologia	Alteração nos índices ecológicos	-	-	-11	0	-15	-15	0	-14	-11	0
	Aumento na abundância de espécies indicadoras de impacto	-	-	-15	-18	-12	0	0	-9	-11	-12
	Alterações na estrutura de população	-	-	0	0	0	0	0	0	0	-19
	Alterações na estrutura de comunidades	-	-	-10	0	0	-10	0	0	0	-16
	Redução da diversidade funcional de espécies	-	-	0	0	0	-15	0	0	0	0
Genética	Alteração da diversidade genética	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-20
	Redução da diversidade filogenética	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-12
Saúde	Alteração nos parâmetros de saúde e fisiologia	-	-	0	-	0	0	-11	0	0	0
	Danos morfológicos	-	-	0	-	0	0	-9	0	0	0

Legenda:	
-	Não se aplica / não realizado no PMBA/Fest-RRDM
0	Impacto nulo
-5 a -8	Baixo
-9 a -12	Médio
-13 a -16	Alto
-17 a -21	Crítico

Conforme indicado no Quadro 5, os impactos com valores críticos (-17 a -21) para o Ambiente Costeiro foram observados apenas na categoria Química, sendo estes representados pela contaminação por

metais e metaloides nos caranguejos de manguezal, reforçando assim a importância deste grupo de organismos como indicadores de contaminação no Ambiente Costeiro.

Na matriz Sedimento do Ambiente Costeiro, foram observados impactos de valores altos (-13 a -16) na categoria Sedimentologia para as praias. Também foram observados estes valores altos na categoria Química para os sedimentos das praias, restinga e manguezais. Na mesma escala de valores, também foi observada contaminação por metais e metaloides (categoria Química) e alteração nos parâmetros de saúde e fisiologia (categoria Saúde) na vegetação de restinga, alteração de índices ecológicos para os grupos biológicos representados pela macrofauna e a meiofauna bentônicas, bem como alterações na estrutura de populações dos caranguejos de manguezal (categoria Ecologia).

Impactos de nível médio (-9 a -12) foram observados na categoria Química, os quais foram representados pela contaminação por metais e metaloides em crustáceos de praias e aves. Por sua vez, a categoria Ecotoxicologia identificou impactos deste nível nos grupos biológicos representados pelos caranguejos de manguezal e os crustáceos de praias. Além disso, foram observadas alterações nos índices ecológicos e nos parâmetros reprodutivos nos caranguejos de manguezal, bem como alterações na estrutura de comunidade e alteração nos parâmetros reprodutivos na vegetação de restinga e nos parâmetros de saúde e fisiologia nas vegetações de restinga e manguezal.

Quadro 5: Representação da Matriz de Resultados para o Ambiente Costeiro. Número de cruzamentos (linha x coluna) com análise dos impactos, descartando-se os impactos nulos (n = 20).

Categoria	Agrupamento de Impacto	AMBIENTE COSTEIRO								
		Abiótico			Biótico					
		Sedimento de Praia	Sedimento Restinga	Sedimento de Manguezal	Vegetação de Restinga	Vegetação de Manguezal	Bentos: macrofauna	Bentos: meiofauna	Caranguejo de Manguezal	Crustáceos de Praia
Sedimentologia	Alterações nas características físicas da praia	-13	-8	-	-	-	-	-	-	-
Química	Contaminação por metais e metalóides	-13	-13	-13	-14	0	0	-	-17	-11
Ecotoxicologia	Aumento nos valores de índice de resposta biológica	-	-	-	0	0	0	0	-11	-9
Ecologia	Alteração nos índices ecológicos	-	-	-	0	0	-13	-14	-12	0
	Alteração nos parâmetros reprodutivos	-	-	-	-10	-	-	-	-12	-
	Alterações na estrutura de população	-	-	-	0	0	0	0	-16	0
	Alterações na estrutura de comunidade	-	-	-	-11	0	0	0	0	0
Saúde	Alteração dos parâmetros de saúde e fisiologia	-	-	-	-13	-10	0	-	0	0

Legenda:	
-	Não se aplica / não realizado no PMBA/Fest-RRDM
0	Impacto nulo
-5 a -8	Baixo
-9 a -12	Médio
-13 a -16	Alto
-17 a -21	Crítico

Como pode ser observado no Quadro 6, os impactos abióticos com valores críticos (-17 a -21) para o Ambiente Marinho foram observados nas categorias Sedimentologia e Química, sendo estes representados por alterações na composição dos sedimentos e contaminação da água por metais e

metaloides. No que se refere aos impactos biológicos, foram observados valores críticos em todas as categorias analisadas (Química, Ecologia, Genética, Saúde e Comportamento), à exceção da Ecotoxicologia. Os impactos considerados críticos estão representados pela contaminação por metais e metaloides no zooplâncton, bentos de fundo inconsolidado, peixes e aves, alteração dos índices ecológicos em zooplâncton e bentos de fundo inconsolidado, aumento na abundância de espécies indicadoras de impacto na microbiota, alteração nos parâmetros reprodutivos associados ao ictioplâncton, alterações na estrutura de comunidades do fitoplâncton e bentos de fundo inconsolidado, alteração da diversidade genética de cetáceos, alterações dos parâmetros de saúde e fisiologia do fitoplâncton e tartarugas marinhas, mortalidade de organismos do bentos de fundo inconsolidado, doença e presença de agentes infecciosos em tartarugas, danos morfológicos no ictioplâncton, alteração no uso do habitat em tartarugas, cetáceos e aves.

Na matriz Sedimento do Ambiente Marinho, foram observados impactos de valores altos (-13 a -16) na categoria Sedimentologia representados pelo aumento do potencial de mobilização dos sedimentos do fundo e aumento da concentração do material particulado em suspensão e turbidez da água. Também foram observados estes valores altos na categoria Química com relação à contaminação por compostos orgânicos e metais e metaloides nos sedimentos, bem como variação das concentrações de nutrientes na água. Na mesma escala de valores, também foi observada contaminação por metais e metaloides (categoria Química) nas tartarugas e cetáceos, aumento no índice de resposta biológica no bentos de fundo inconsolidado (categoria Ecotoxicologia), aumento na abundância de espécies indicadoras de impactos no bentos de sedimento inconsolidado, alterações nos parâmetros reprodutivos de tartarugas marinhas, alterações na estrutura de comunidades do ictioplâncton (categoria Ecologia) e alteração da diversidade genética em tartarugas e aves (categoria Genética), alteração nos parâmetros de saúde e fisiologia e mortalidade de organismos de cetáceos (categoria Saúde), bem como alterações do nicho isotópico e diversidade trófica em peixes e nas taxas de encalhe de cetáceos (categoria Comportamento).

Impactos de nível médio (-9 a -12) foram observados na categoria Química, os quais foram representados pela contaminação da água e cetáceos por compostos orgânicos e contaminação por metais e metaloides nos organismos do fitoplâncton e do bentos de fundo inconsolidado. Por sua vez, a categoria Ecotoxicologia identificou impactos deste nível nos compartimentos abióticos para os níveis de toxicidade e nos grupos biológicos representados pelos organismos planctônicos (fitoplâncton e zooplâncton) e nos peixes, em que os impactos foram representados pelo aumento nos valores do índice de resposta biológica. Além disso, foram observadas alterações nos índices ecológicos no ictioplâncton, bentos de fundo consolidado e peixes, alteração nos parâmetros reprodutivos em aves, alterações na estrutura de populações do zooplâncton e de aves, alterações na estrutura de comunidades de macroalgas e bentos de fundo consolidado (categoria Ecologia), alteração da diversidade genética em peixes (categoria Genética), alteração nos parâmetros de saúde e fisiologia de peixes, doenças e presença de agentes infecciosos em cetáceos e aves (categoria Saúde), bem como alteração do uso do habitat em peixes (categoria Comportamento).

Quadro 6: Representação da Matriz de Resultados para o Ambiente Marinho. Número de cruzamentos (linha x coluna) com análise dos impactos, descartando-se os impactos nulos (n = 64).

Categorias	Agrupamento de Impactos	AMBIENTE MARINHO												
		Abiótico		Biótico										
		Água	Sedimento	Macroalgas	Microbiota	Fitoplâncton	Zooplâncton	Ictioplâncton	Bentos de fundo inconsolidado	Bentos de fundo consolidado	Peixes	Tartarugas	Cetáceos	Aves
Sedimentologia	Composição sedimentar	-	-17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aumento da concentração do material particulado em suspensão e turbidez	-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aumento do potencial de mobilização do fundo	-	-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Química	Variação das concentrações de nutrientes	-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Contaminação por compostos orgânicos	-11	-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-8	-12	0
	Contaminação por metais e metaloide	-17	-16	0	-	-11	-18	-	-18	-11	-18	-13	-16	-18
Ecotoxicologia	Aumento nos valores de índice de resposta biológica	-	-	-	-	-10	-10	-	0	-13	-12	-	-	-
	Aumento nos níveis de toxicidade	-12	-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecologia	Aumento da concentração de clorofila-a	-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Alterações dos índices ecológicos	-	-	0	0	0	-17	-12	-18	-10	-12	0	0	0
	Aumento na abundância de espécies indicadoras de impacto	-	-	-	-17	-	-	-	-16	-	-	-	-	-
	Alteração nos parâmetros reprodutivos	-	-	-	-	-	-	-18	-	-	-	-16	-	-12
	Alterações na estrutura de populações	-	-	0	0	0	-10	0	0	0	0	0	0	-12
	Alterações na estrutura de comunidades	-	-	-10	0	-18	0	-15	-18	-11	0	0	0	0
Genética	Alteração da diversidade genética	-	-	-	-	-	-	-	-	-12	-14	-17	-13	
Saúde	Alteração dos parâmetros de saúde e fisiologia	-	-	0	-	-18	0	0	0	-	-12	-18	-16	0
	Mortalidade de organismos	-	-	-	-	-	-	-	-18	-	-	-	-16	-
	Doenças e presença de agentes infecciosos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-18	-12	-10
	Danos morfológicos	-	-	-8	-	0	0	-18	0	0	-8	0	0	0
Comportamento	Alteração do Uso do Habitat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-11	-18	-18	-18
	Alteração do nicho isotópico e diversidade trófica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-14	-	-	-
	Alteração nas taxas de enalhe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-14	-

Legenda:	
-	Não se aplica / não realizado no PMBA/Fest-RRDM
0	Impacto nulo
-5 a -8	Baixo
-9 a -12	Médio
-13 a -16	Alto
-17 a -21	Critico

A partir da análise dos gráficos gerados (Figura 2, Figura 3 e Figura 4), denota-se, para todos os ambientes estudados, que a totalidade dos impactos foram classificados com pontuação menor (-1) e média (0) quanto ao critério Caráter. Esse fato reflete a ausência de impactos com efeitos positivos (+1) nos ambientes estudados. Cabe destacar que a proporção dos impactos negativos é semelhante para os Ambientes Dulcícola (Figura 2) e Costeiro (Figura 3), porém bastante inferior àquela observada para o Ambiente Marinho (Figura 4). Quanto ao critério Relação com o Rompimento, foi constatado que 29% e 20% apenas dos impactos observados nos Ambientes Dulcícola e Costeiro, respectivamente, apresentaram uma relação direta com o rompimento da Barragem de Fundão. O percentual de impactos no Ambiente Marinho considerados como tendo uma relação direta com o rompimento da Barragem de Fundão é bem maior (41%) do que aqueles observados nos Ambientes Dulcícola e Costeiro.. A carência de dados pretéritos para os Ambientes Dulcícola e Costeiro fica evidente quando se observa os resultados obtidos para o critério Definição, no qual apenas 49% e 50% dos impactos receberam o maior valor (3) nos Ambientes Dulcícola (Figura 2) e Costeiro (Figura 3), respectivamente, enquanto que para o Ambiente Marinho este valor foi de 70% (Figura 4). De todas as formas, a marca da passagem do rejeito de minério no Ambiente Dulcícola e a chegada da lama no Ambiente Costeiro fica muito bem refletida nos altos percentuais de impactos classificados com pontuação maior no critério

Abrangência Espacial para estes ambientes, especialmente quando comparados com aquele observado para o Ambiente Marinho. Em relação ao critério que classifica quanto ao nível ambiental/trófico afetado, o Ambiente Dulcícola apresentou 20% dos impactos com a maior pontuação, em grande contraste com os outros dois ambientes, que apresentaram valores percentuais bem mais expressivos. Neste caso, o baixo valor percentual observado para o Ambiente Dulcícola também pode estar associado ao desenho amostral previsto pelo TR4 para o PMBA/Fest-RRDM, além da já mencionada carência de dados pretéritos ao rompimento da barragem, bem como a ausência de ecossistemas que possam servir, de forma eficiente, como referência para as áreas impactadas. Nesse caso, observa-se que o Rio Guandu também se encontra altamente impactado e, por isso, só é referência eficiente para alguns parâmetros/indicadores analisados. Quanto ao critério que define a duração do impacto, os resultados obtidos indicam que o Ambiente Dulcícola apresenta o maior valor percentual (66%) de impactos classificados como de pontuação máxima, quando comparado aos resultados obtidos para outros dois ambientes analisados. Isto sugere uma condição de recuperação extremamente lenta do Ambiente Dulcícola. Por fim, o grau de reversibilidade dos impactos observados foi considerado alto para os três ambientes analisados, exceto no que se refere aos aspectos genéticos analisados nos organismos. É importante ressaltar que a reversibilidade do impacto, ou seja, uma melhora ambiental que propicie a eliminação ou mitigação de um determinado impacto, é dependente das ações reparatórias e de recuperação aplicadas no ambiente impactado.

Figura 2: Gráfico de distribuição dos impactos por critérios para a Matriz de Resultados do Ambiente Dulcícola.

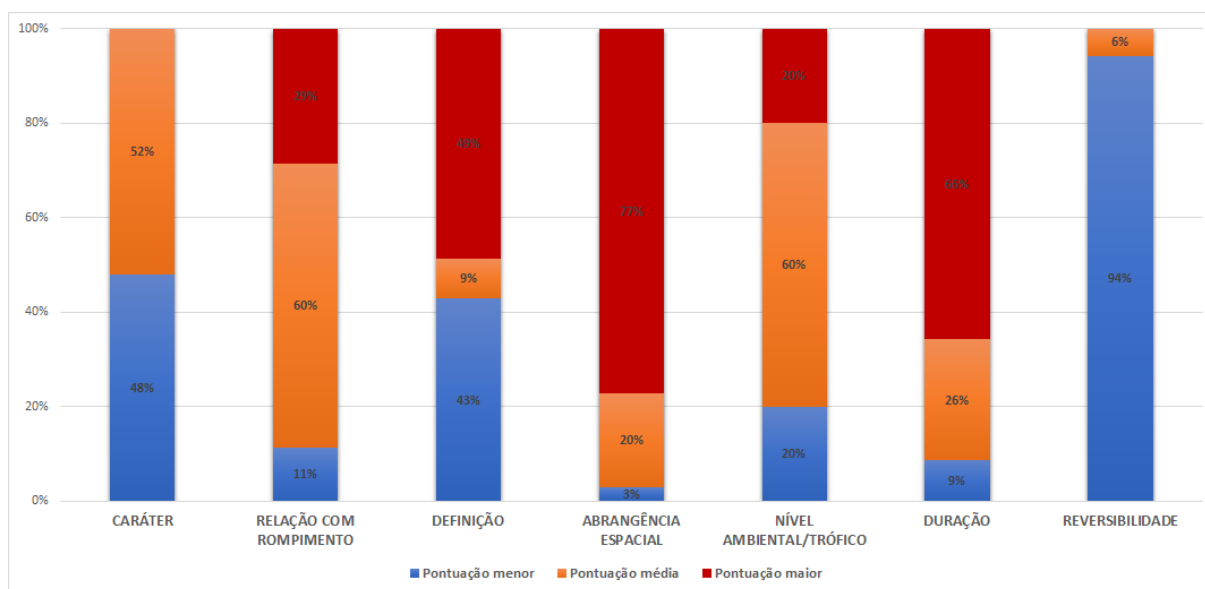


Figura 3: Gráfico de distribuição dos impactos por critérios para a Matriz de Resultados do Ambiente Costeiro.

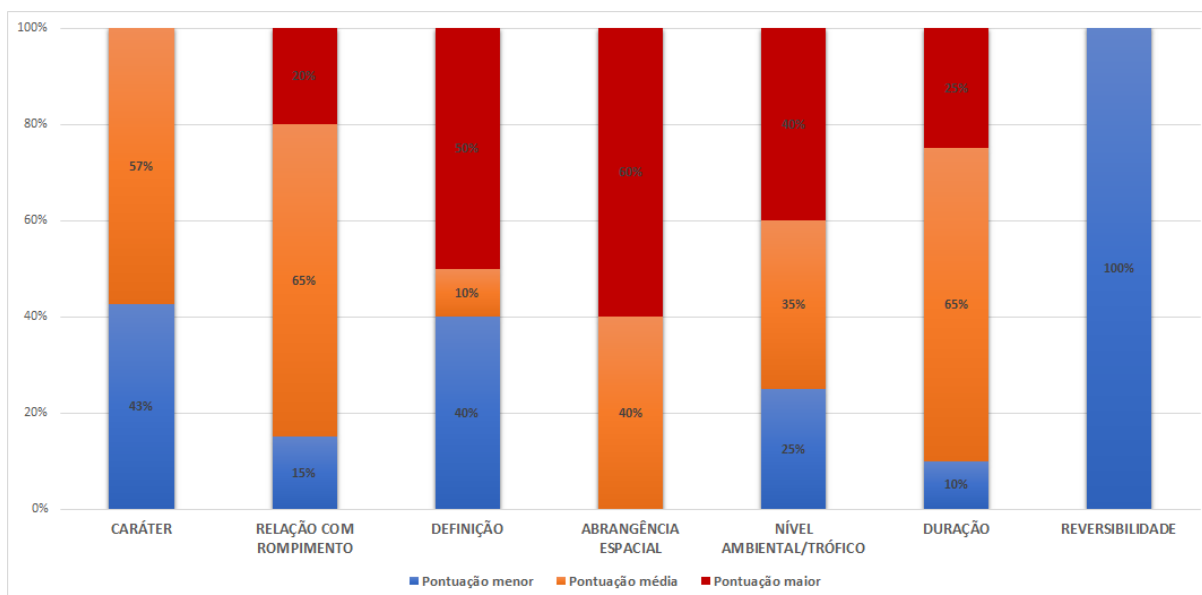
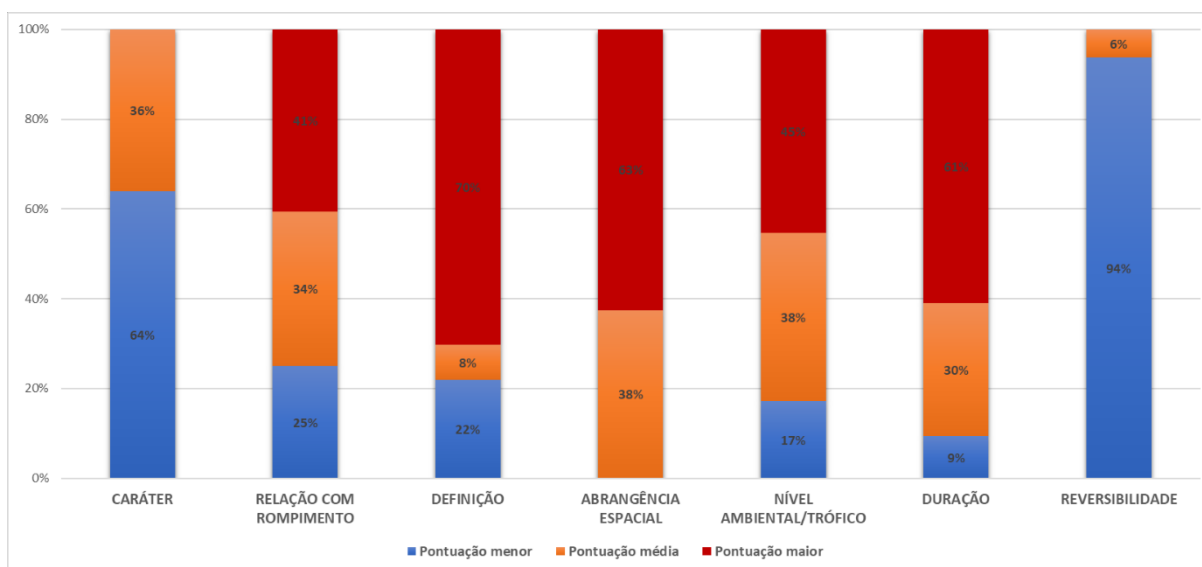


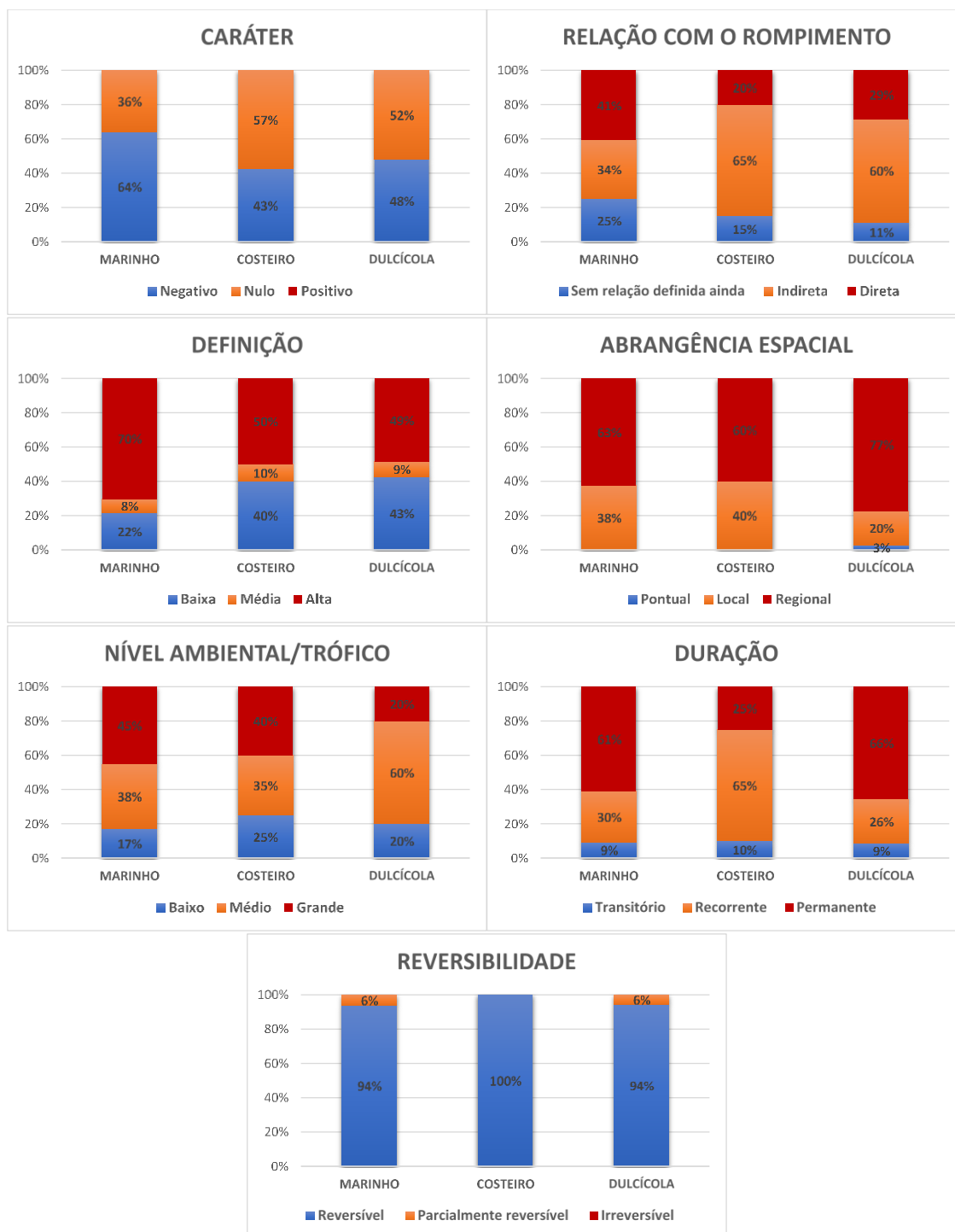
Figura 4: Gráfico de distribuição dos impactos por critérios para a Matriz de Resultados do Ambiente Marinho.



Dentre os impactos identificados nos Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho, a grande maioria destes tiveram relação direta ou indireta com o rompimento da Barragem de Fundão, sendo que, no Ambiente Marinho, 41% deles foram associados diretamente ao rompimento da referida barragem (Figura 5). Neste contexto, cabe destacar que aproximadamente a metade (~50%) dos impactos observados nos Ambientes Dulcícola e Costeiro, bem como a grande maioria (70%) daqueles relatados para o Ambiente Marinho foram definidos com base em referências que utilizam dados pretéritos para comparação ou que possuem correlação com os principais metais encontrados no rejeito da barragem. No que se refere à abrangência espacial dos impactos observados, a grande maioria (>60%) foi considerada como sendo de escala regional, para todos os três ambientes analisados. A análise consolidada dos dados

para os três ambientes avaliados também apontou que, no Ambiente Dulcícola, a maioria dos impactos observados alcançaram a base da cadeia trófica (vegetação, corais, plâncton e bentos), enquanto que nos Ambientes Costeiro e Marinho, a maioria deles alcançou os níveis superiores da cadeia trófica (caranguejos, peixes, aves e megafauna). No que se refere à duração destes impactos, a grande maioria (>60%) foi considerada como sendo permanente nos Ambientes Dulcícola e Marinho, tendo sido sempre verificados, independente do período ou das condições existentes quando o monitoramento foi realizado. No Ambiente Costeiro, a grande maioria dos impactos identificados neste ambiente foram considerados recorrentes, ou seja, como tendo sido verificados em períodos sazonais como, por exemplo, durante os períodos chuvosos ou períodos secos. No que concerne o potencial de reversibilidade dos impactos observados, denota-se que a grande maioria deles (>94%) tem a possibilidade de serem revertidos ao longo do tempo, desde que sejam adotadas medidas adequadas de mitigação, reparação e conservação das condições abióticas e bióticas dos ecossistemas afetados, visando a obtenção de condições semelhantes ou melhores que aquelas observadas no período pré-rompimento da Barragem de Fundão.

Figura 5: Gráficos representando a consolidação dos impactos considerando-se todos os Ambientes estudados.



Além da análise geral consolidada dos dados para todas as categorias e ambientes avaliados, conforme apresentado acima, também foi realizada uma análise consolidada para cada categoria de agrupamento dos impactos para todos os ambientes avaliados, bem como para cada ambiente em particular. O maior detalhamento dos resultados obtidos visa melhor subsidiar a tomada de decisão por parte dos atores envolvidos no processo de avaliação, monitoramento, mitigação, reparação e conservação da área impactada direta ou indiretamente pelo rompimento da Barragem de Fundão. Os resultados consolidados para todos os ambientes, bem como para cada ambiente em particular, para as categorias Sedimentologia, Química, Ecotoxicologia, Ecologia, Genética, Saúde e Comportamento estão apresentados na Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12, respectivamente.

Figura 6: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Sedimentologia (6 impactos negativos e 0 impactos nulos).

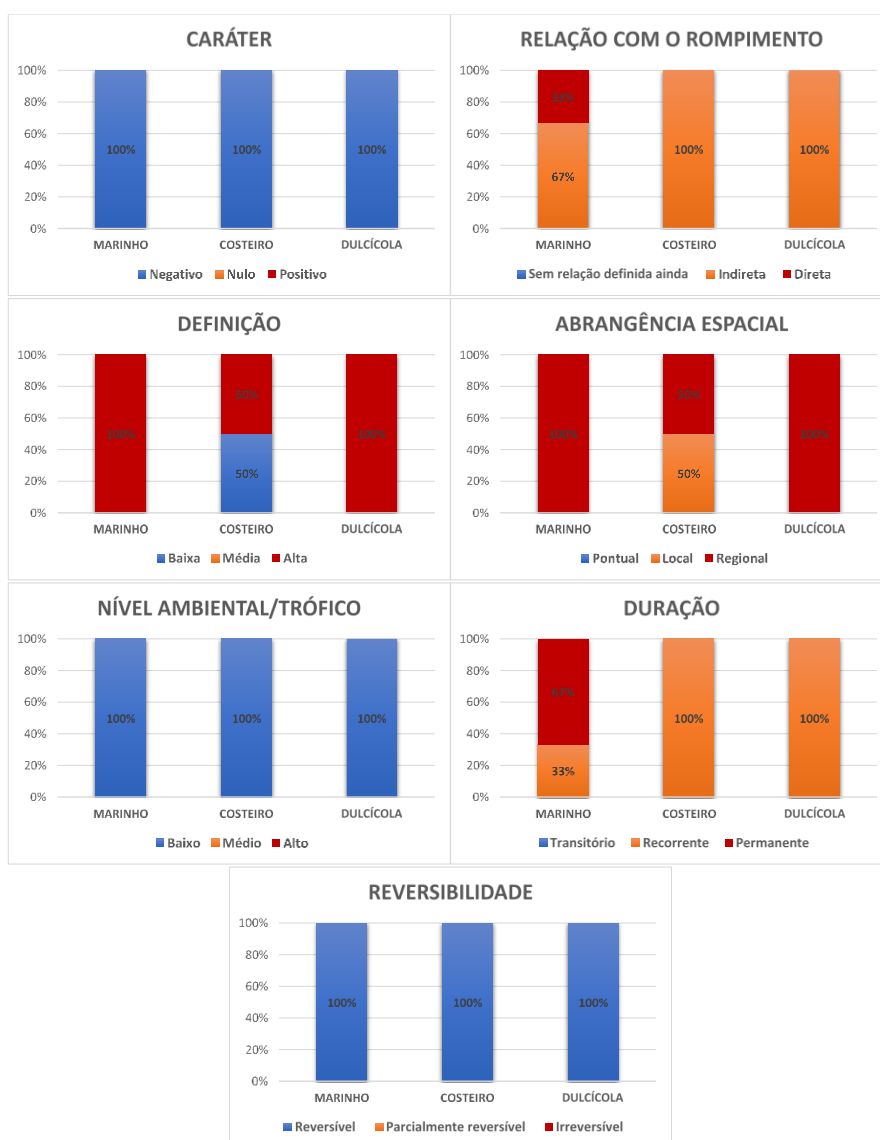
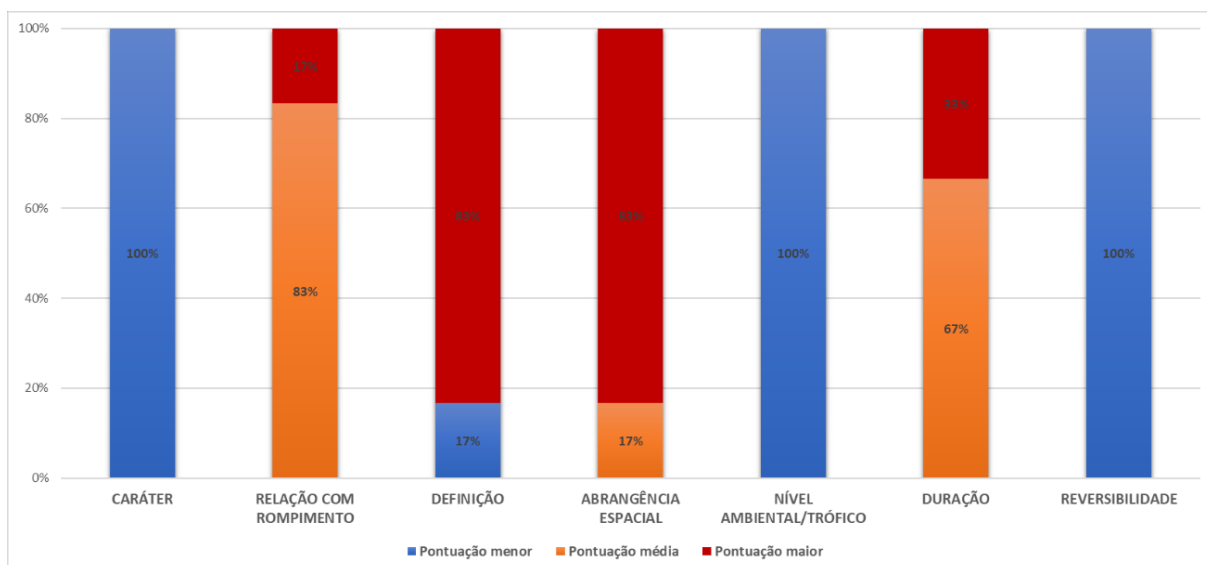


Figura 7: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Química (30 impactos negativos e 6 impactos nulos).

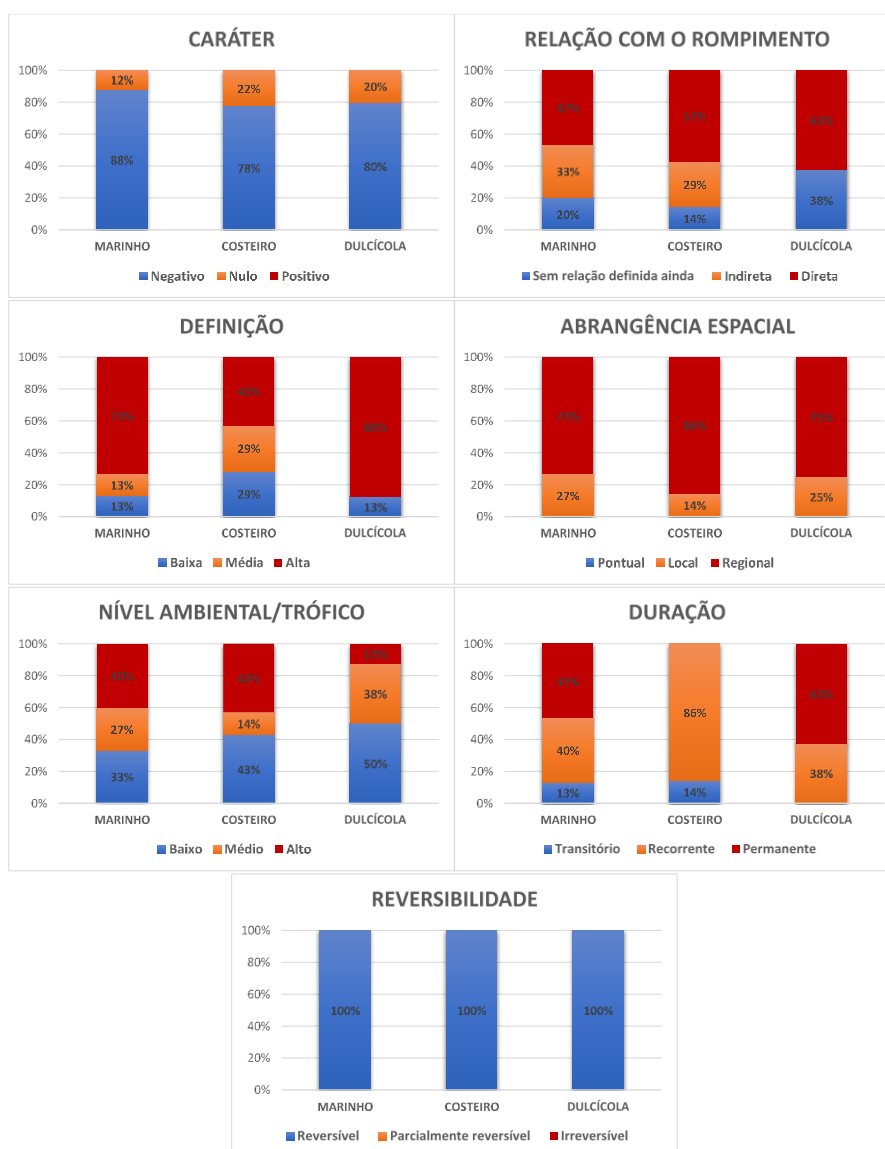
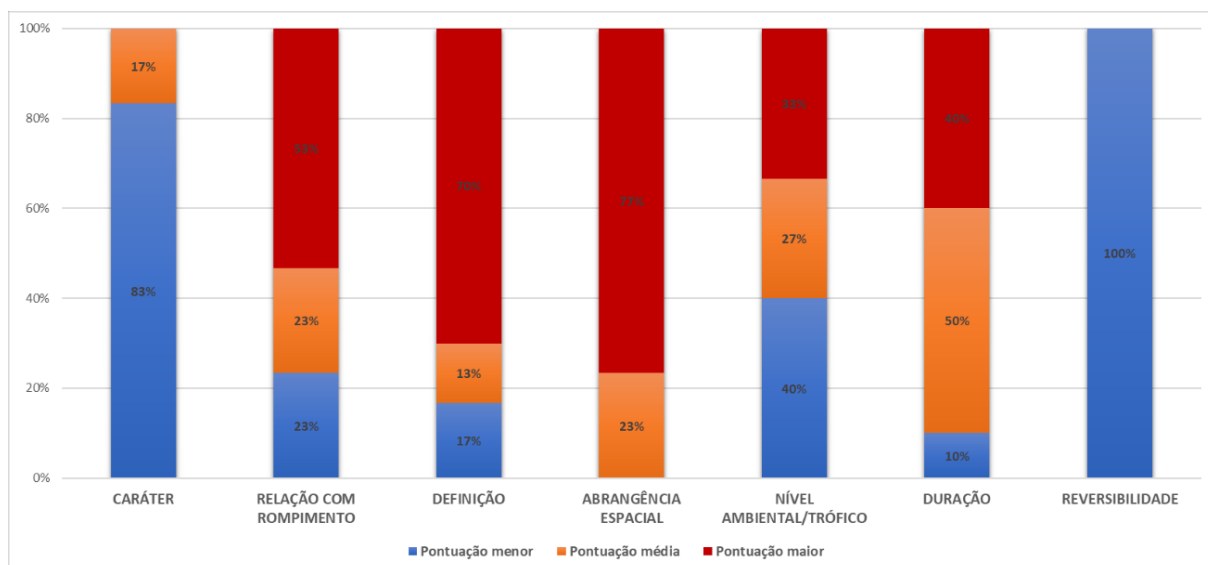


Figura 8: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Ecotoxicologia (14 impactos negativos e 6 impactos nulos).

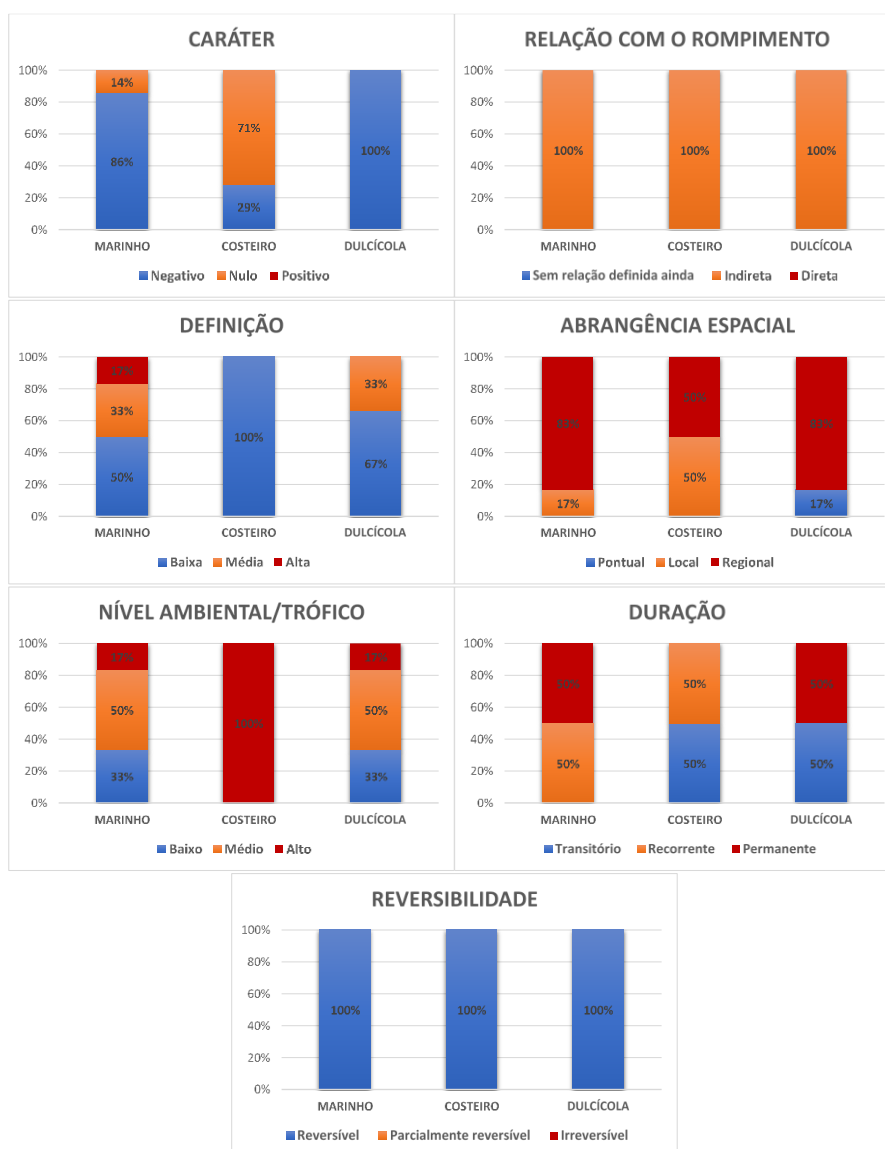
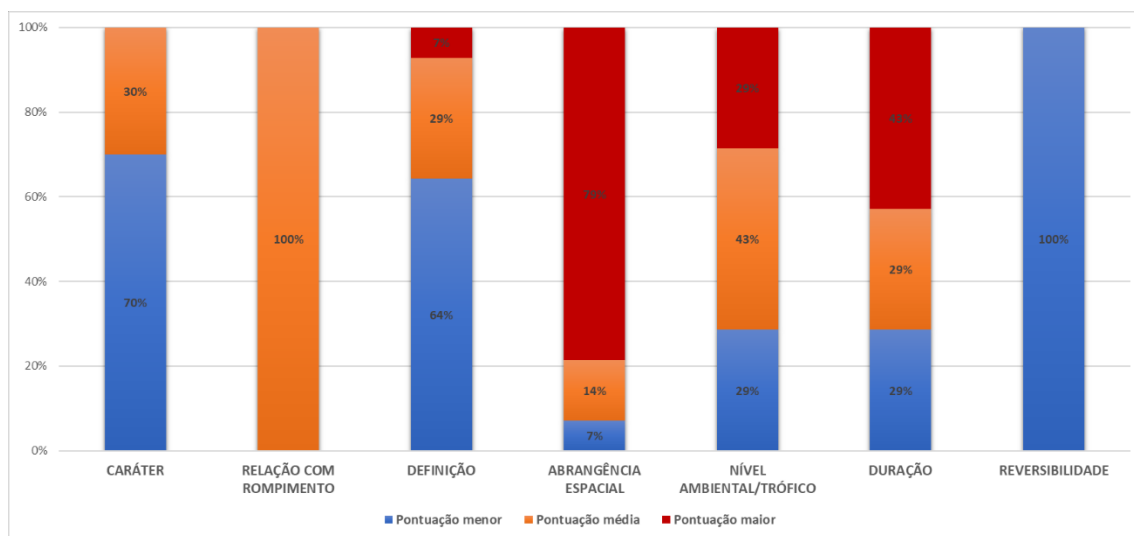


Figura 9: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Ecologia (41 impactos negativos e 61 impactos nulos).

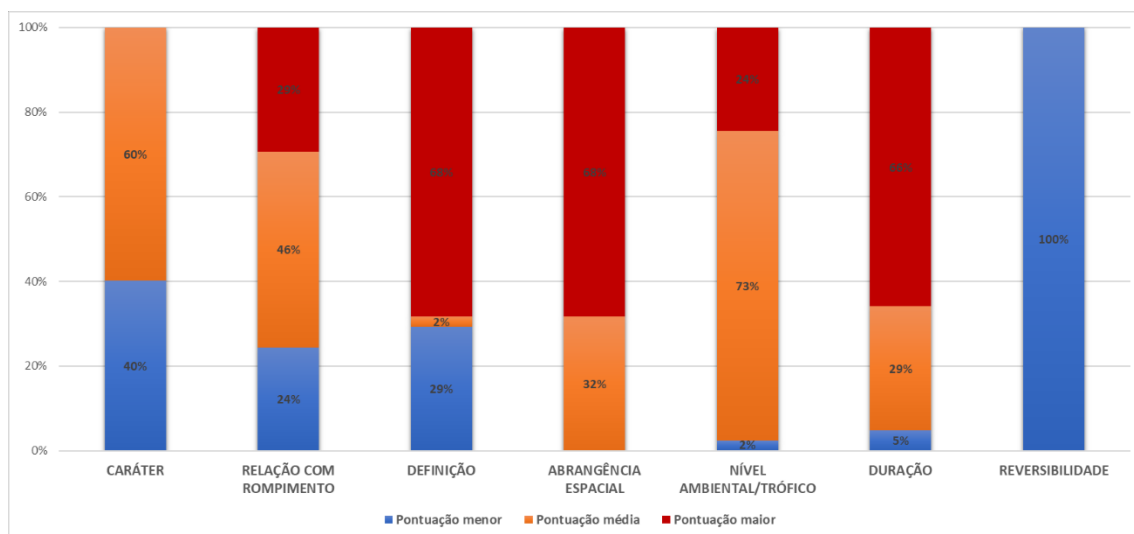


Figura 10: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Genética (6 impactos negativos e 0 impactos nulos).

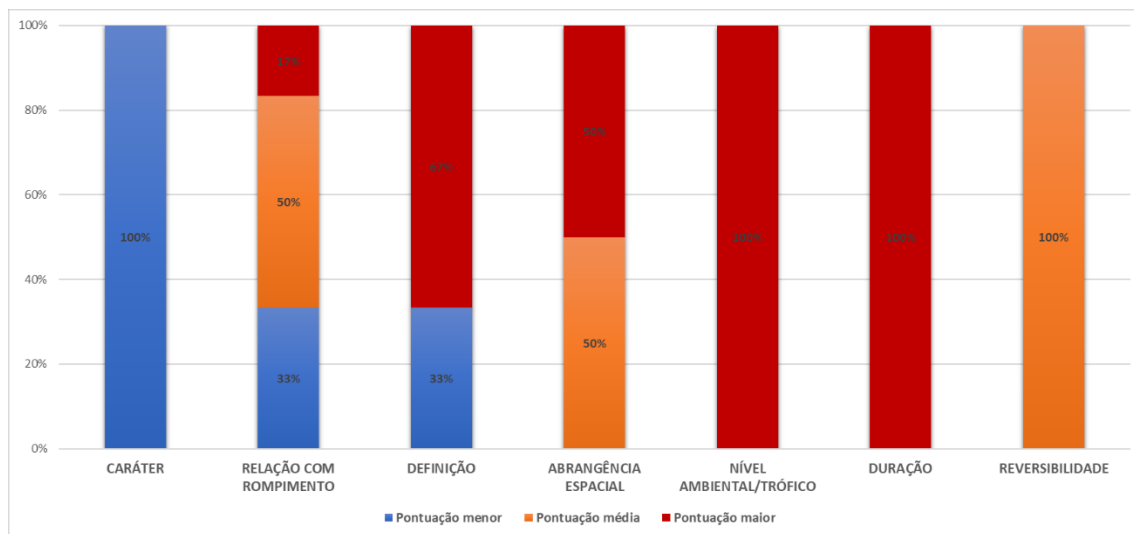


Figura 11: Gráficos representando os impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para a categoria Saúde (16 impactos negativos e 28 impactos nulos).

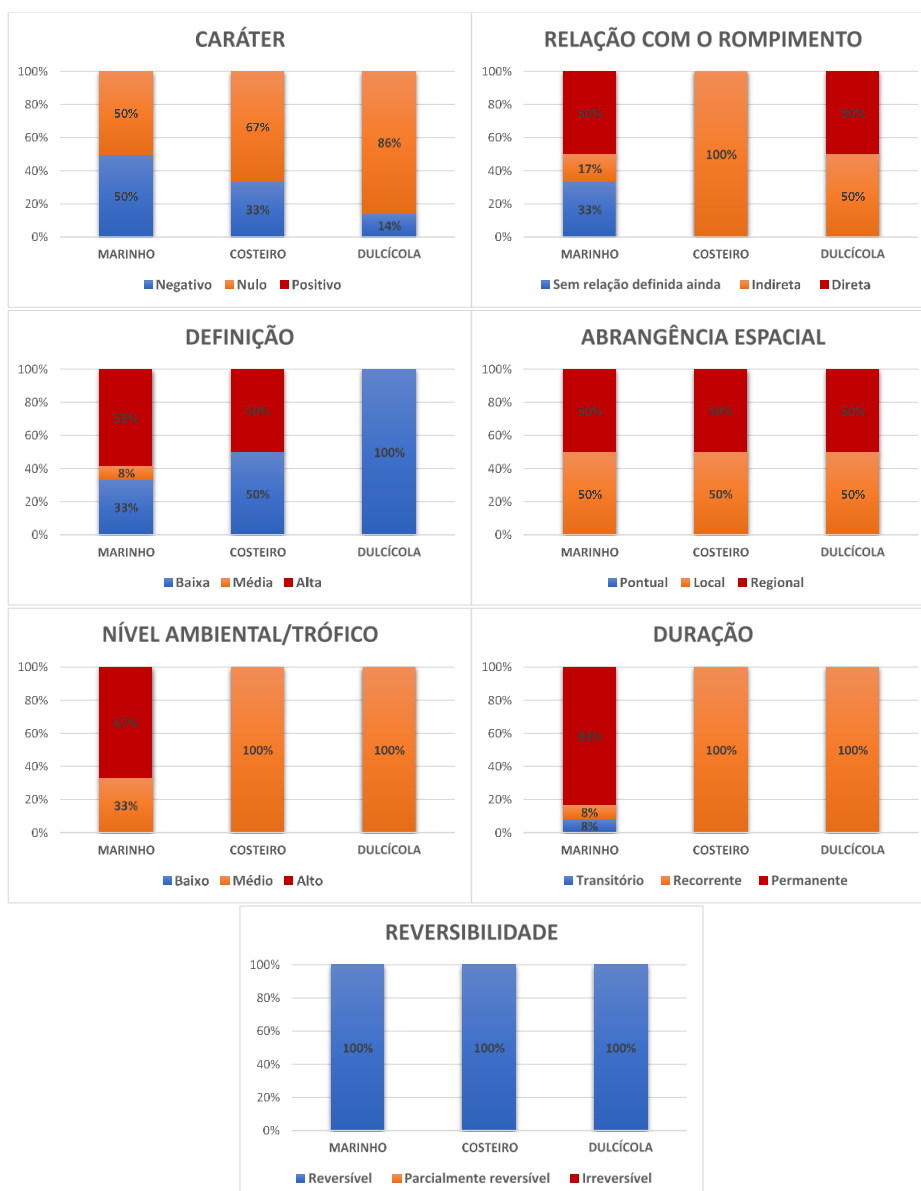
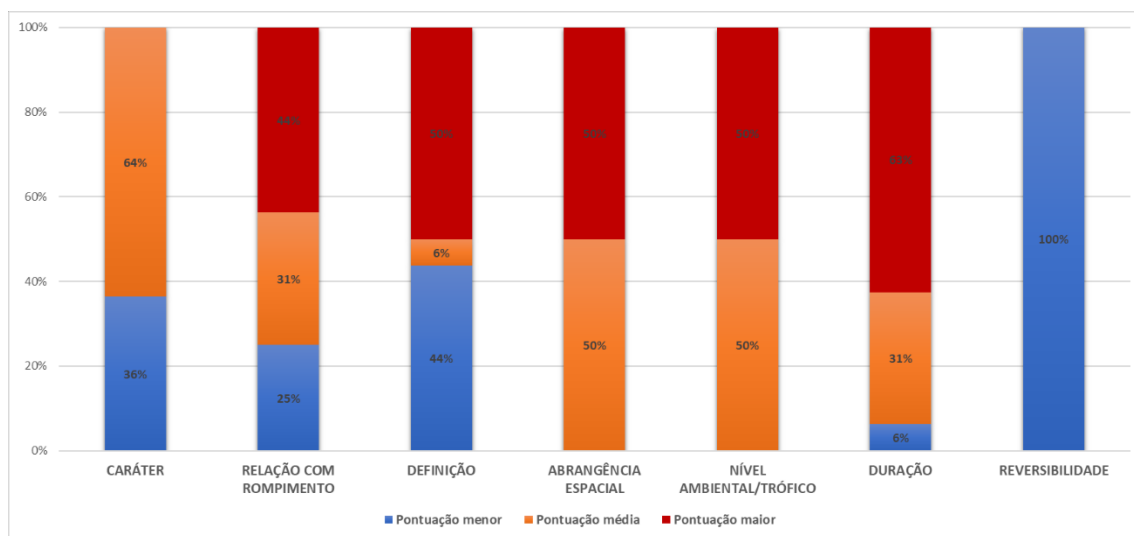
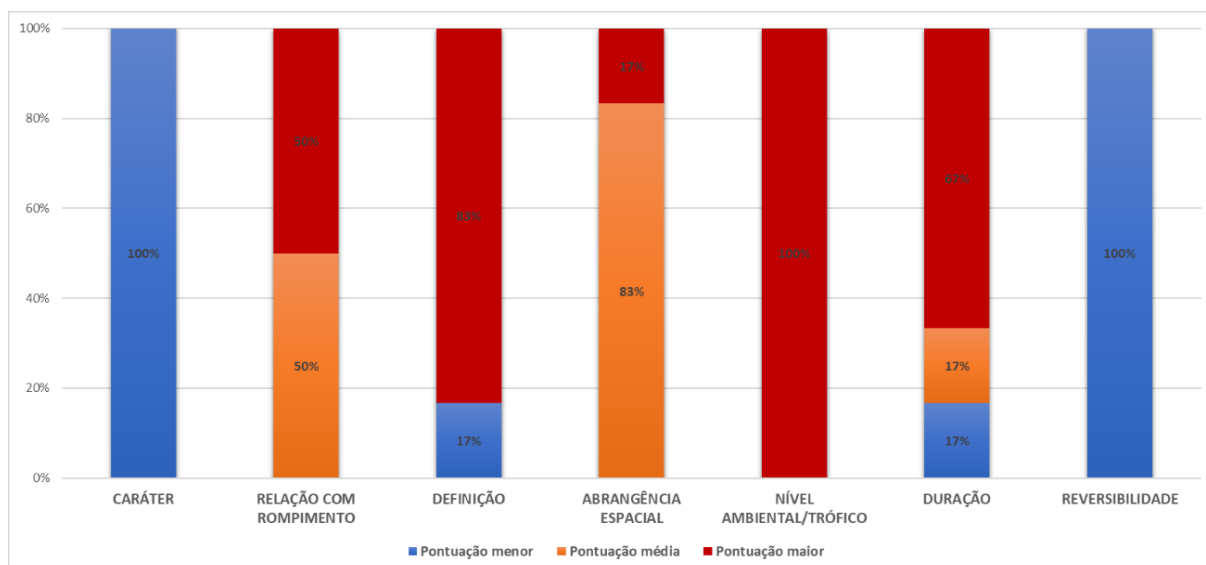


Figura 12: Gráfico representando os impactos de forma consolidada para o Ambiente Marinho para a categoria Comportamento. Esta categoria está presente apenas no Ambiente Marinho (6 impactos negativos e 0 impactos nulos).



Considerando-se que o PMBA/Fest-RRDM é voltado à qualidade ambiental e a biodiversidade em ambientes aquáticos, foi detectada a importância em ser realizada uma análise integrada e pormenorizada dos impactos observados, de forma consolidada para todos os ambientes avaliados, bem como para cada um destes ambientes em particular, com foco no critério Nível Ambiental/Trófico. Cabe destacar que esse critério agrupa os impactos conforme associação destes aos níveis da cadeia trófica. Os resultados obtidos a partir desta análise estão apresentados na Figura 13 e no *Material Suplementar MRG, Figuras 1, 2 e 3*. Para um maior detalhamento dos resultados obtidos, estes estão sendo apresentados considerando-se os compartimentos abióticos (água e sedimentos), classificados como nível baixo, e os bióticos que constituem a base (vegetação, microrganismos, plâncton e bentos) e o topo (caranguejos, peixes, aves e megafauna) da cadeia trófica dos ecossistemas analisados, respectivamente denominados como níveis médio e grande. Dessa forma, foram observados 23 impactos nos compartimentos abióticos (baixo), 52 impactos nos compartimentos bióticos representativos da base da cadeia trófica (médio), bem como 44 impactos nos compartimentos bióticos representativos do topo da cadeia trófica (grande). Esses resultados indicam que os impactos identificados não estão restritos a um grupo de compartimentos em especial, mas sim estão presentes e distribuídos nos diferentes compartimentos ambientais dos ecossistemas em estudo. Visando melhor subsidiar os atores envolvidos na tomada de decisão no âmbito do processo de avaliação, monitoramento, mitigação, reparação e conservação dos ambientes impactados pelo rompimento da Barragem de Fundão, os resultados obtidos também estão apresentados de forma detalhada para cada ambiente em particular, considerando-se cada um dos critérios adotados na análise: Definição, Relação com o Rompimento, Abrangência Espacial, Duração e Reversibilidade (Figura 13). Neste mesmo contexto, a análise dos resultados obtidos a partir das Matrizes de Resultados do PMBA/Fest-RRDM também permitiu uma avaliação detalhada dos achados, considerando-se as diferentes matrizes abióticas (Água: Figura 14; Sedimento: Figura 15), bem como as matrizes bióticas consideradas como sendo a base da cadeia trófica dos ecossistemas avaliados (Plâncton: Figura 16).

Figura 13: Gráficos representando a distribuição dos impactos por Ambiente para as classificações do critério Nível Ambiental/Trófico.



Figura 14: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente, considerando-se a matriz Água (11 impactos negativos e 0 impactos nulos).

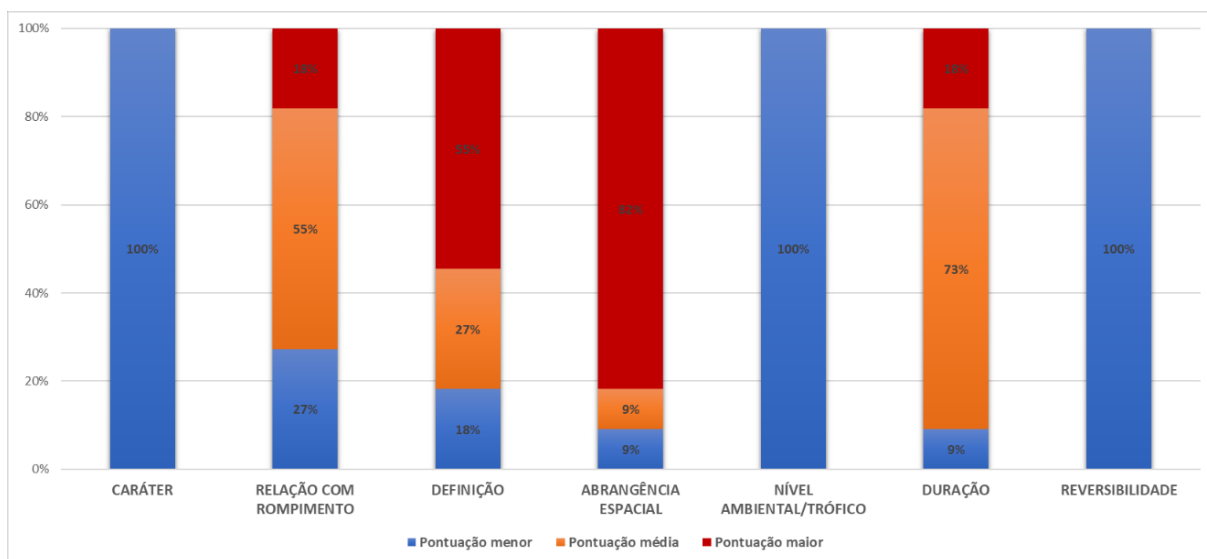


Figura 15: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente, considerando-se a matriz Sedimento (12 impactos negativos e 2 impactos nulos).

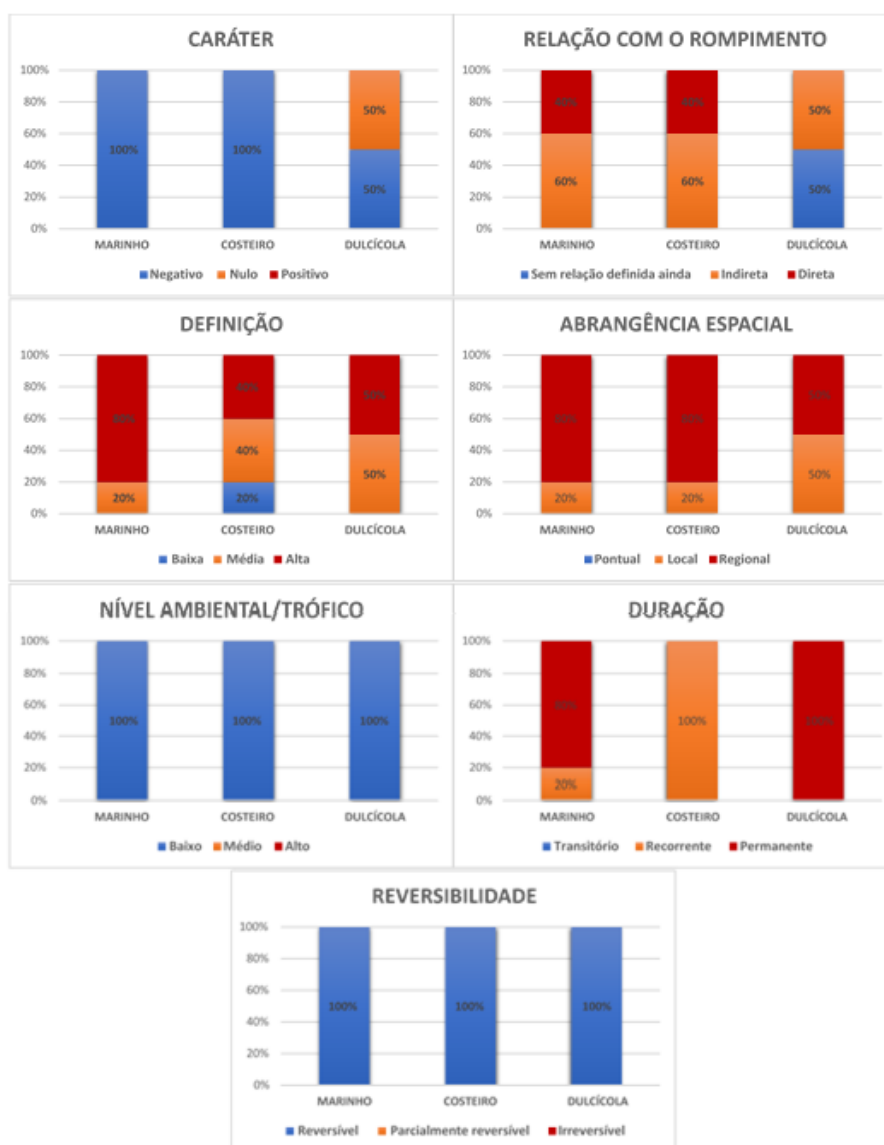
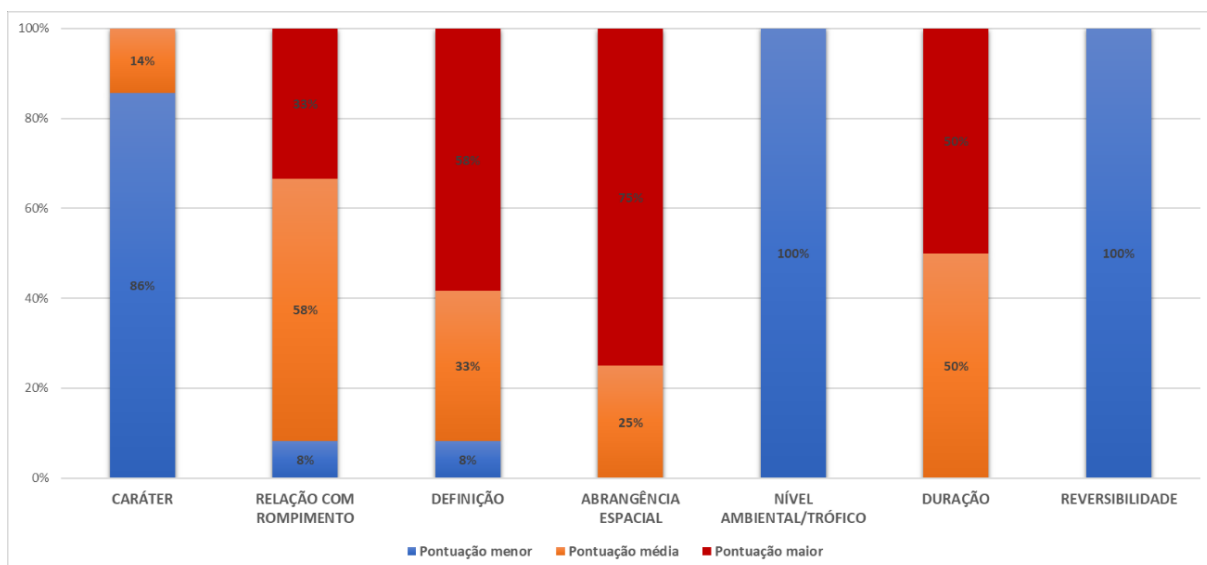
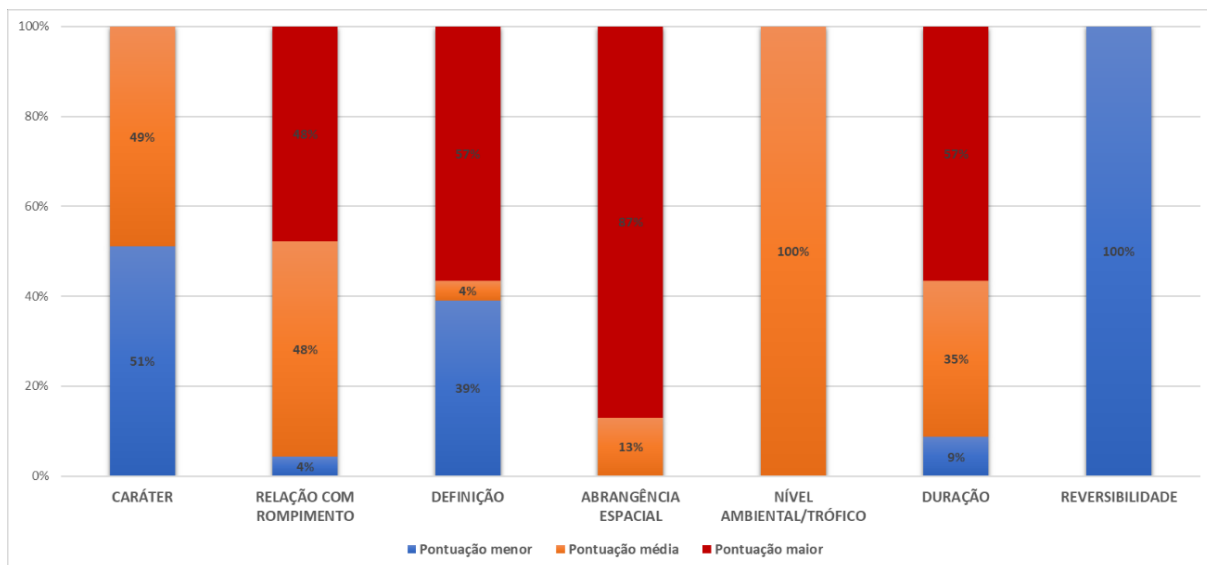
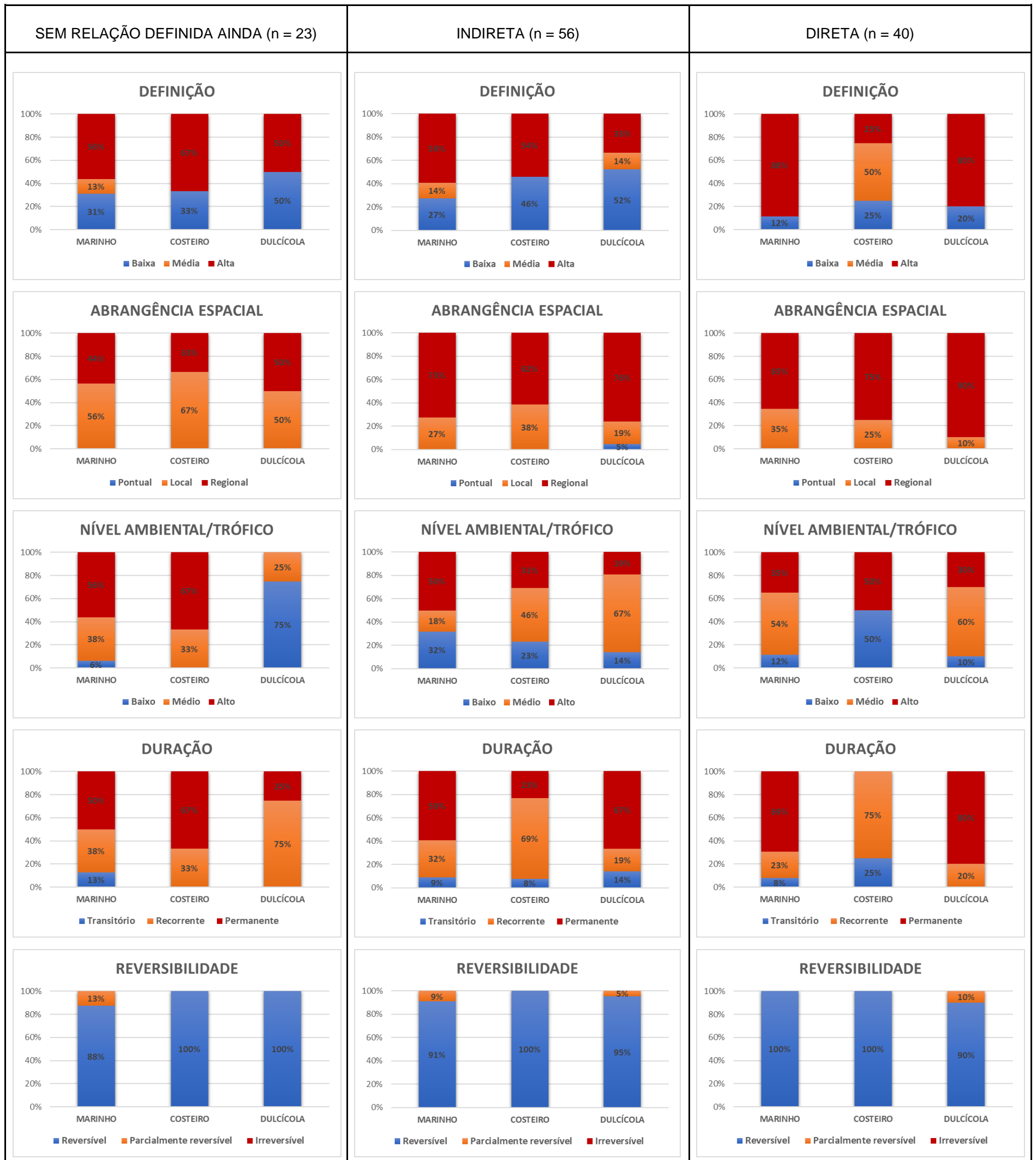


Figura 16: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente, considerando-se a matriz Plâncton: Fitoplâncton, Ictioplâncton e Zooplâncton (23 impactos negativos e 22 impactos nulos).



Considerando-se a importância do estabelecimento de um nexos causal entre os impactos observados e sua relação com o rompimento da Barragem de Fundão, a metodologia adotada para a construção da Matriz de Resultados gerada no âmbito do PMBA/Fest-RRDM permitiu a classificação destes impactos utilizando-se o critério Relação com o Rompimento da referida barragem. Os resultados obtidos estão expressos na Figura 17 e no *Material Suplementar MRG, Figuras 4, 5 e 6*. Esta análise foi realizada de forma consolidada para todos os ambientes estudados, bem como para cada um destes ambientes em particular. Considerando-se a análise consolidada dos dados para todos os ambientes estudados, foi observado que 23 impactos foram classificados ainda como não possuindo relação definida com o rompimento da Barragem de Fundão. Por outro lado, 56 impactos foram considerados como tendo associação indireta com o rompimento da referida barragem, enquanto 40 impactos foram associados diretamente ao rompimento da Barragem de Fundão (*Material Suplementar MRG, Figura 4, 5 e 6*). Para melhor subsidiar a tomada de decisão por parte dos agentes envolvido na avaliação, monitoramento, mitigação, reparação e conservação dos ecossistemas impactados pelo rompimento da Barragem de Fundão, os resultados obtidos no âmbito da presente análise também foram detalhados considerando-se os diferentes critérios adotados nos diferentes ambientes estudados: Definição, Abrangência Espacial, Nível Ambiental/Trófico, Duração e Reversibilidade (Figura 17).

Figura 17: Gráficos representando a distribuição dos impactos por Ambiente para as classificações do critério Relação com Rompimento.



Visando ainda complementar as informações e fornecer mais subsídios para a tomada de decisão, os resultados obtidos a partir das Matrizes de Resultados geradas no âmbito do PMBA/Fest-RRDM também foram agrupados e analisados considerando-se os impactos que foram classificados com valor alto quanto ao critério Definição e sua relação (Direta ou Indireta) com o rompimento da Barragem de Fundão (Figura 18).

Adicionalmente, os dados foram analisados de forma consolidada considerando-se os impactos observados nos compartimentos abióticos (água e sedimentos) e bióticos nos diferentes ambientes estudados e que foram identificados como tendo Relação Direta com o rompimento da Barragem de Fundão. Neste contexto, foram identificados 6 impactos associados ao meio biótico e 34 impactos relacionados ao meio abiótico. Os respectivos dados também foram detalhados considerando-se os critérios Definição, Abrangência Espacial, Nível Ambiental/Trófico, Duração e Reversibilidade para cada um dos ambientes analisados (Figura 19).

Figura 18: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para aqueles impactos classificados com os critérios de Definição Alta e Relação Direta ou Indireta com o Rompimento.

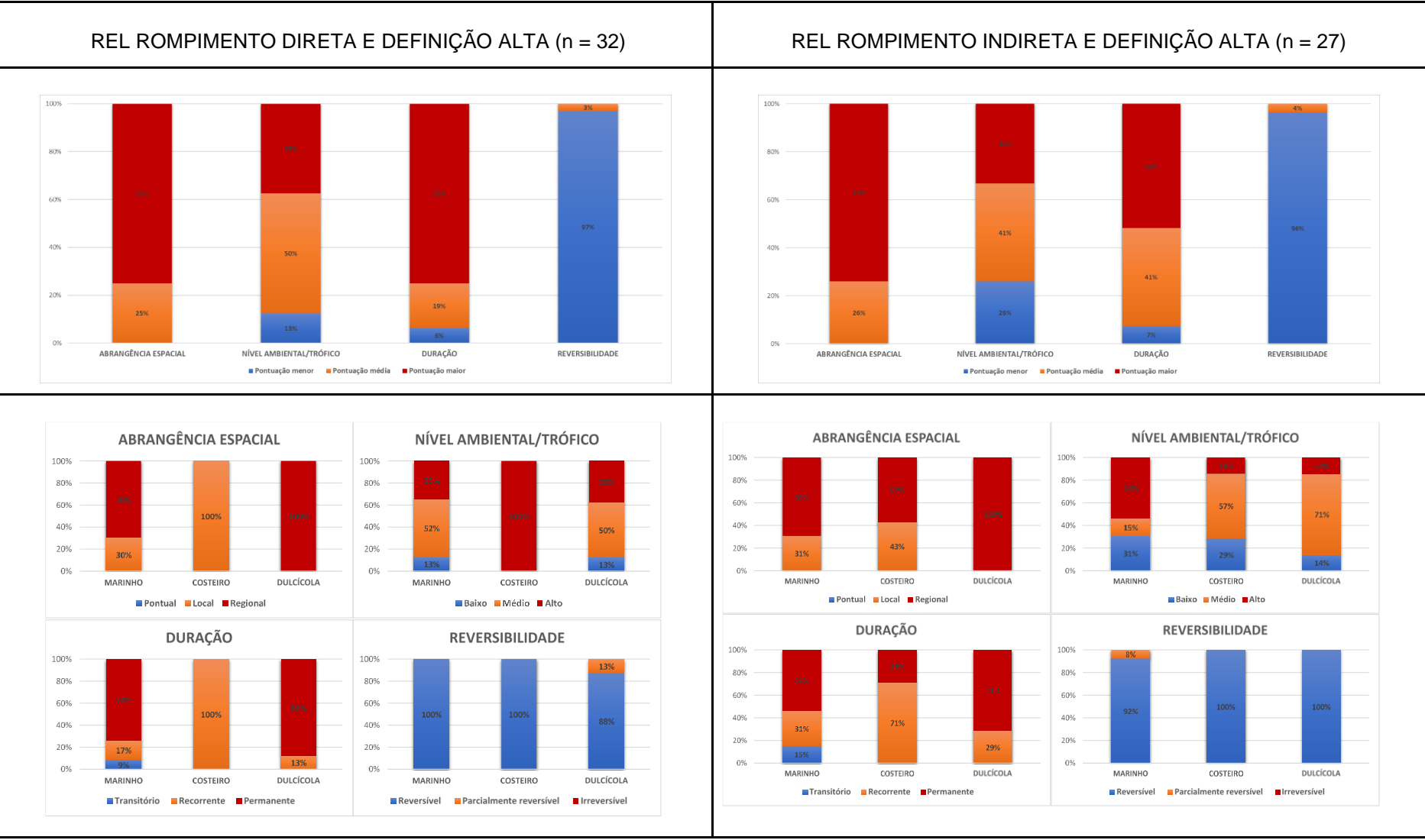
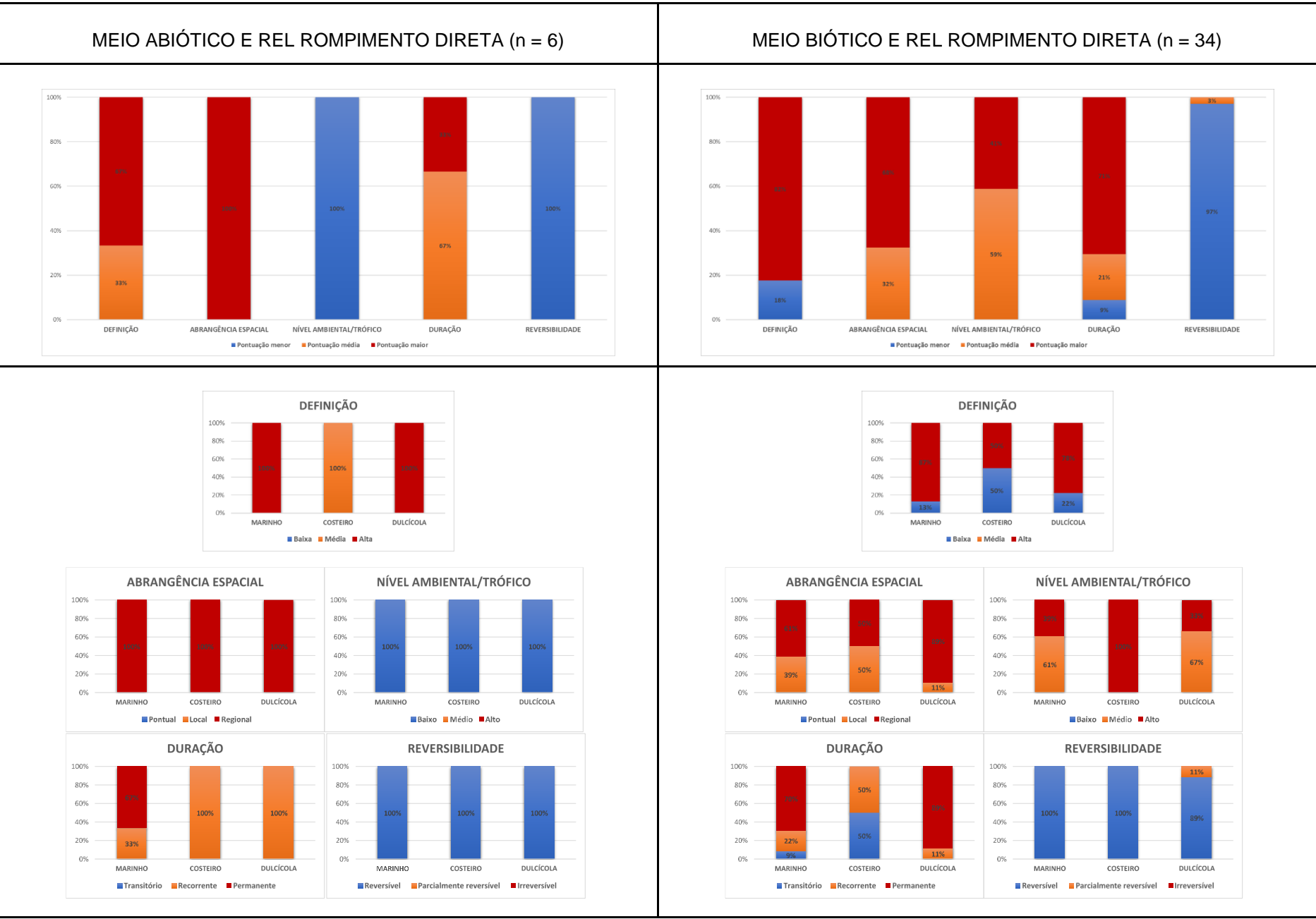
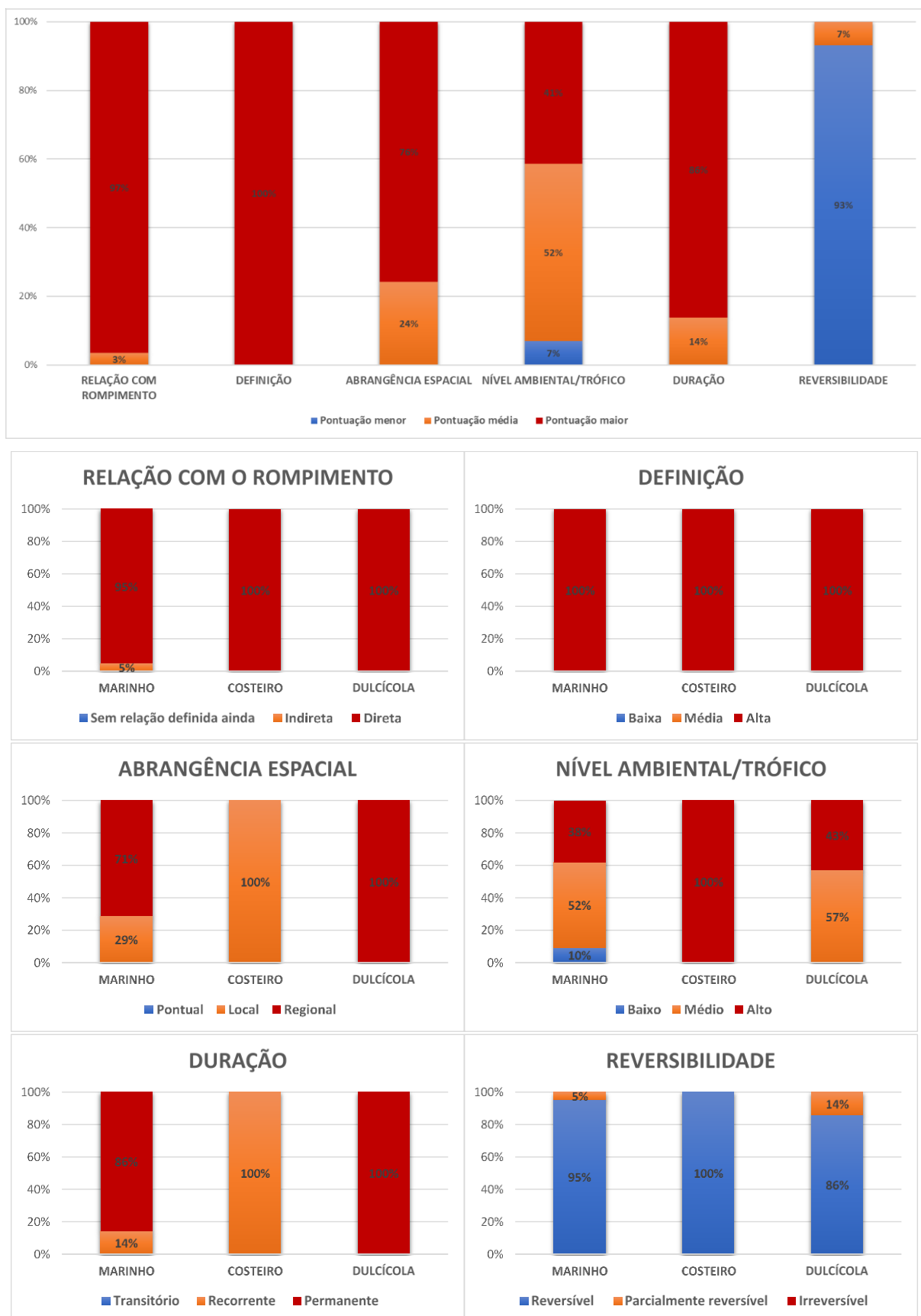


Figura 19: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos Ambientes e por Ambiente para aqueles impactos classificados com critério de Relação Direta com Rompimento para o Meio Abiótico ou Biótico.



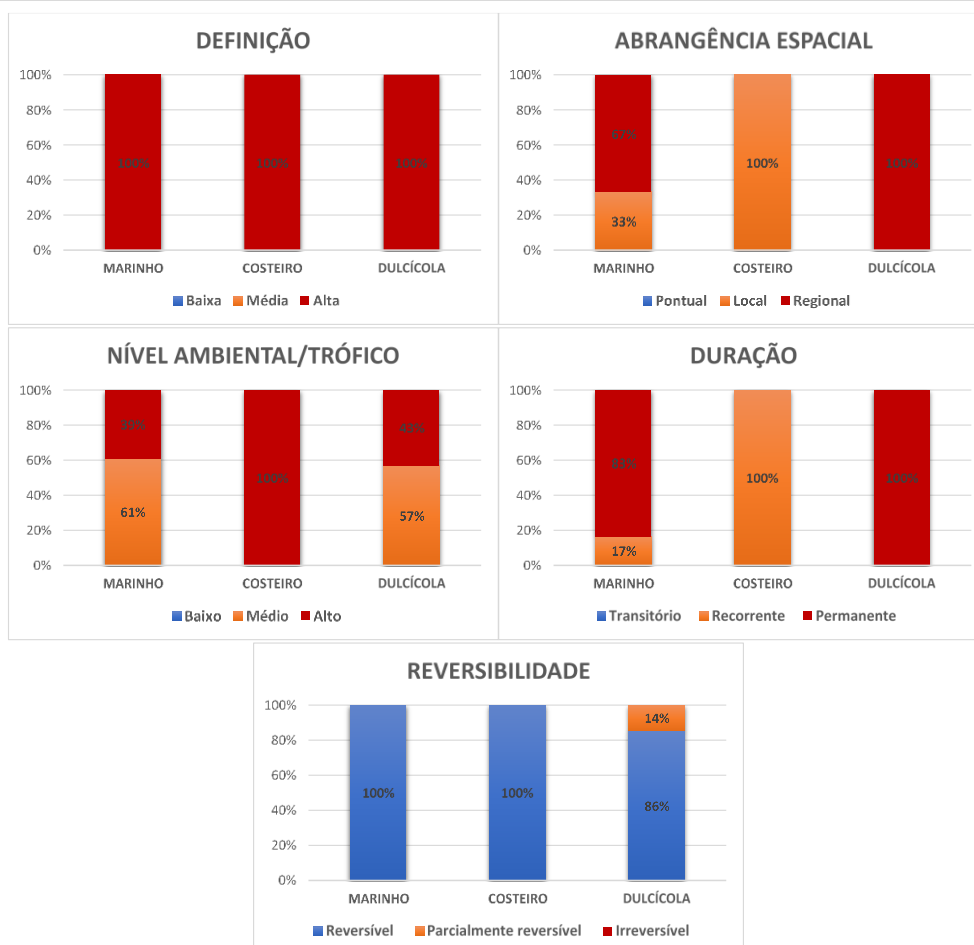
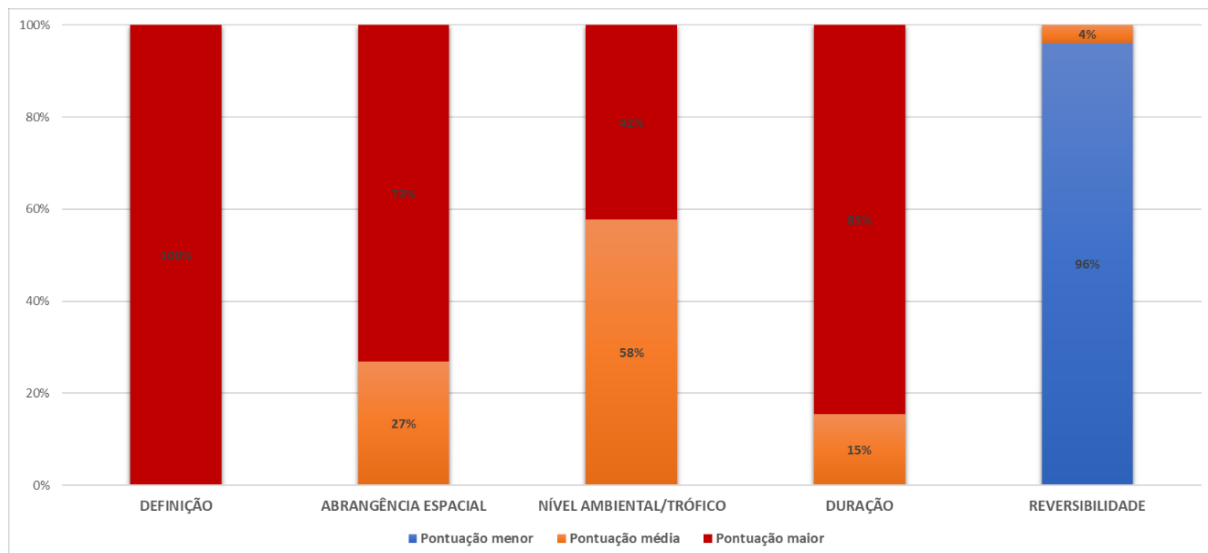
Outro aspecto extremamente importante para o processo de tomada de decisão consiste nos resultados da análise dos impactos considerados como sendo Críticos, de forma consolidada para todos os ambientes analisados, bem como para cada ambiente em particular. Os resultados obtidos a partir desta análise encontram-se detalhados na Figura 20. Cabe destacar que 97% dos impactos classificados como sendo Críticos para os três ambientes estudados tem relação direta com o rompimento da Barragem de Fundão e a totalidade destes impactos foi identificada com base em referências que utilizam dados pretéritos ao impacto ou que possuem correlação com os principais metais encontrados no rejeito da barragem (critérios A, B e/ou D). É importante também destacar que 76% destes impactos tem uma Abrangência Regional, ou seja, foram verificados em mais de 1 setor estudado no âmbito do PMBA/Fest-RRDM e 41% deles alcançou níveis superiores da cadeia trófica (caranguejos, peixes, aves e megafauna). No que se refere à Duração destes impactos, 86% deles foram considerados como sendo permanentes, tendo sido, portanto, sempre verificados, independente do período ou das condições existentes quando o monitoramento foi realizado. Por fim, cabe destacar que 7% destes impactos foram considerados como sendo apenas Parcialmente Reversíveis por serem impactos de caráter genético. A reversibilidade é assumida caso sejam tomadas as medidas adequadas para que a qualidade da água e do sedimento, e consequentemente da biodiversidade aquática, retornem aos níveis/condições aceitáveis, mesmo que diferentes daquelas registradas previamente ao rompimento da Barragem de Fundão. Os resultados detalhados desta análise, considerando-se os diferentes critérios adotados (Definição, Abrangência Espacial, Nível Ambiental/Trófico, Duração e Reversibilidade) para cada ambiente em particular, estão apresentados na Figura 20.

Figura 20: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para aqueles impactos classificados na ponderação total como Críticos (faixa de -21 a -17) (n = 29).



Por fim, a construção das Matrizes de Resultados a partir dos dados gerados no âmbito do PMBA/Fest-RRDM permitiu uma análise integrada dos dados considerando-se os impactos identificados no Meio Biótico, objeto central de avaliação, análise e monitoramento no âmbito do programa em andamento (Biodiversidade Aquática), e que possuem uma Relação Direta com o rompimento da Barragem de Fundão e são considerados como sendo Críticos na ponderação total dos atributos de classificação adotados. Esta análise foi realizada de forma consolidada, considerando-se os três ambientes avaliados, bem como cada um dos ambientes em particular. Os resultados obtidos estão expressos na Figura 21 e indicam que 73% dos impactos identificados foram verificados em mais de 1 setor estudado, ou seja, foram considerados como sendo de Abrangência Regional. Cabe destacar que 42% dos impactos identificados na condição em questão alcançaram níveis superiores da cadeia trófica (caranguejos, peixes, aves e megafauna), sendo que 85% deles foram considerados como sendo Permanentes, ou seja, foram sempre verificados, independente do período ou das condições existentes quando o monitoramento foi realizado. Por fim, cabe destacar que 4% destes impactos foram considerados como Parcialmente Reversíveis, isto se forem adotadas ações que permitam que a qualidade da água e do sedimento, e consequentemente da biodiversidade aquática, retornem aos níveis/condições aceitáveis, mesmo que diferentes daquelas observadas anteriormente ao rompimento da Barragem de Fundão. Para um maior subsídio à tomada de decisão, os resultados obtidos foram também detalhados por ambiente analisado, considerando-se os critérios Definição, Abrangência Espacial, Nível Ambiental/Trófico, Duração e Reversibilidade (Figura 21).

Figura 21: Gráficos representando a distribuição dos impactos de forma consolidada para todos os Ambientes e por Ambiente para aqueles impactos no Meio Biótico classificados com o critério de Relação Direta com Rompimento e como Críticos na ponderação total (faixa de -21 a -17) (n = 26).



3.2 ESPACIALIZAÇÃO DOS IMPACTOS

A análise feita a partir da Matriz de Resultados permitiu a geração de mapas temáticos que mostram a interação entre agrupamentos de impactos e compartimentos abióticos e bióticos. O passo seguinte na análise foi avaliar a distribuição espacial dos impactos nos diferentes compartimentos estudados.

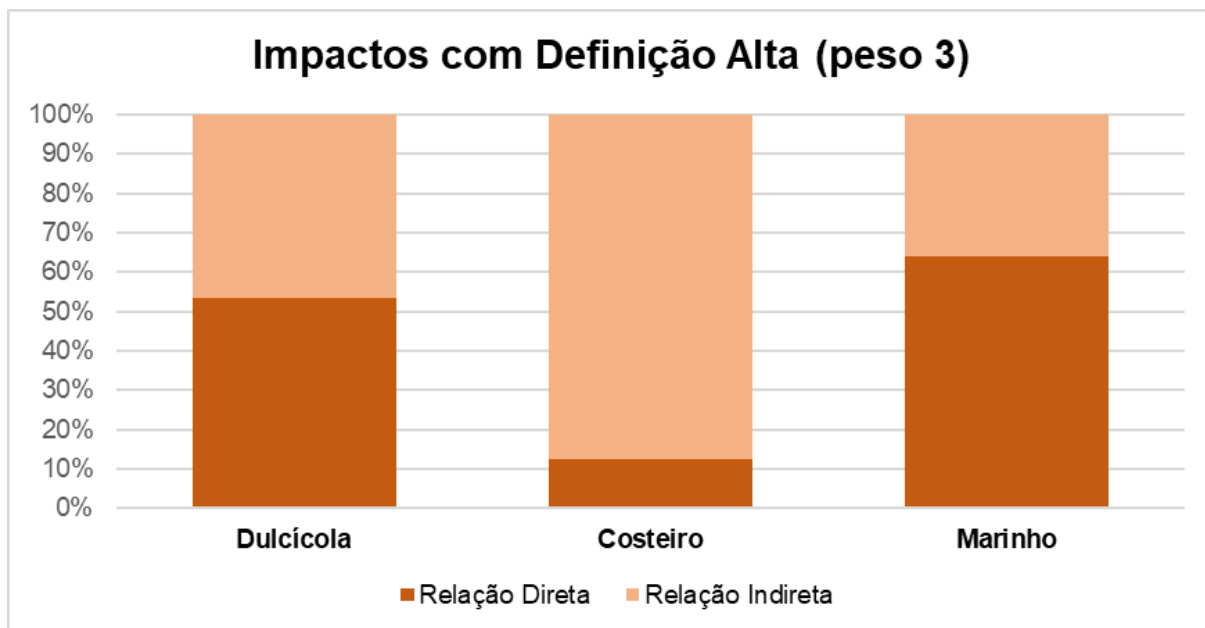
Com base nos resultados obtidos desde o primeiro ano de execução do PMBA/Fest-RRDM, foi possível realizar a identificação e a caracterização das compartimentos/setores impactados pelo rompimento da Barragem de Fundão, considerando-se a extensão da malha amostral na região de atuação do referido Programa de Monitoramento. A identificação e a caracterização das áreas impactadas foram realizadas com base nos dados dos parâmetros e indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade que foram obtidos, consolidados, analisados e interpretados pelas equipes de pesquisadores atuantes nos diferentes Anexos do PMBA/Fest-RRDM.

A partir das Matrizes de Resultados geradas para os três ambientes analisados, foi possível criar critérios avaliativos para consolidar o entendimento das macro relações entre os impactos e os compartimentos abióticos e bióticos em cada um destes ambientes. Assim, a geração de mapas das áreas impactadas pode ser feita com base em diferentes critérios, desde que os impactos/alterações sejam observados ao longo da área de monitoramento.

Cabe destacar que, a partir da matriz de interação gerada no âmbito do PMBA/Fest-RRDM, as possibilidades de espacialização dos resultados são diversas. Cabe, portanto, ao pesquisador, analista ou gestor definir o que seria mais importante de ser avaliado em cada momento, adotando assim uma abordagem avaliativa do tipo *top-down* ou *bottom-up*. Para proceder com a avaliação apresentada no presente relatório, foi definido o critério que pode ser considerado como mais robusto se o interesse for discutir o nexo causal ou analisar como o impacto/alteração foi definido. Nesse sentido, utilizou-se o critério Definição no seu peso máximo (peso 3) como filtro básico para plotar os impactos nos diferentes compartimentos abiótico e biótico. O segundo filtro utilizado foi a Relação com o rompimento da barragem (Relação Direta: peso 3; Relação Indireta: peso 2).

No Ambiente Dulcícola, mais de 50% dos impactos foram considerados de natureza diretamente relacionada com o rompimento da Barragem de Fundão. Por sua vez, no Ambiente Costeiro o percentual de impactos associados diretamente com o rompimento da barragem é bastante inferior, representando pouco mais de 10%. No entanto, é muito provável que este valor percentual possa ser muito superior àquele mencionado acima, considerando-se, como já comentado anteriormente, artefato da escassez a carência de dados pretéritos para o Ambiente Costeiro, especialmente quando comparado com o volume deste tipo de dados disponível, já que a disponibilidade desse tipo de dados é maior para o Ambiente Marinho, no qual mais de 60% dos impactos foram considerados como possuindo uma relação direta com o rompimento da barragem (Figura 22).

Figura 22: Identificação dos principais agrupamentos de impactos indicados na Matriz de Resultados (Definição Alta e Relação Direta ou Indireta com o rompimento da barragem).



Os mapas apresentados no presente relatório para os Ambientes Dulcícola (Figura 23 e Figura 24), Costeiro (Figura 25 e Figura 26) e Marinho (Figura 28 e Figura 29) usaram um critério de definição robusto, que consolida impactos definidos com base em dados obtidos antes (pré-evento) e depois (pós-evento) da chegada do rejeito de minério no ecossistema em estudo. Entretanto, nem toda alteração observada a partir de dados pré- e pós-evento pode estar necessariamente associada ao impacto causado pelo rompimento da Barragem de Fundão. Da mesma maneira, impactos observados e definidos por meio de outros critérios também são consistentes com o cenário de alteração dos ecossistemas e, portanto, não podem de forma nenhuma serem descartados da análise. A aplicação do critério utilizado aqui serve como forma de destacar os impactos que foram definidos com base nas condições observadas antes e depois da chegada do rejeito de minério no ecossistema em estudo.

Não bastasse a análise feita por meio de gráficos, como descrito anteriormente, os mapas apresentados nesta seção permitem ao analista avaliar a interação entre os impactos listados e os compartimentos abióticos e bióticos afetados. Desta forma, eles permitem uma análise das áreas que estão sofrendo impactos/alterações nos meios abiótico e biótico, considerando-se os diferentes grupos biológicos estudados. Adicionalmente, os resultados das análises apresentadas nesta seção permitem a visualização da espacialização dos impactos/alterações quanto ao critério Duração, podendo esta ser Recorrente (peso 2) ou Permanente (peso 3). Esta análise permite ao analista visualizar de forma clara quais os impactos/alterações ambientais são sempre verificados, independente do período ou das condições existentes quando o monitoramento foi realizado (Duração Permanente) ou quando são verificados apenas em períodos sazonais como, por exemplo, nos períodos chuvosos ou secos (Duração Recorrente).

1

MG ES

LAGO LINHARES LAGOA

RIO COLATINA

BAIXO GUANDU

ARACRUZ

FOZ DO RIO DOCE

Oceano Atlântico

Esri, GEBICO, DeLorme, NaturalVue

FUNDÃO

0 5 10 20

Kilômetros

320000 400000

7840000

2

MG ES

LAGO LINHARES LAGOA

RIO COLATINA

BAIXO GUANDU

ARACRUZ

FOZ DO RIO DOCE

Oceano Atlântico

Esri, DeLorme, NaturalVue

FUNDÃO

0 5 10 20

Kilômetros

320000 400000

7840000

Legend:

- Água
- Fitoplâncton
- Macrófitas
- Macroinvertebrados
- Microbiota
- Peixes
- Perifíton
- Zooplâncton
- UC Federal
- UC Estadual
- UC Municipal

Os símbolos não representam pontos amostrais, mas indicação dos setores de ocorrência dos resultados.

Id	Agrupamento de impactos
1	Aumento da concentração do Material Particulado em Suspensão (MPS) e turbidez
5	Contaminação por metais e metalóides
10	Alteração nos índices ecológicos

RIO DOCE MAR

MATRIZ DE RESULTADOS

Dulcícola - Definição Alta

1 - Relação Rompimento: Direta (3)
Duração: Recorrente (2)

2 - Relação Rompimento: Indireta (2)
Duração: Recorrente (2)

Aroldo Rocha - jan/2022

Figura 24: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Dulcícola considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 2).

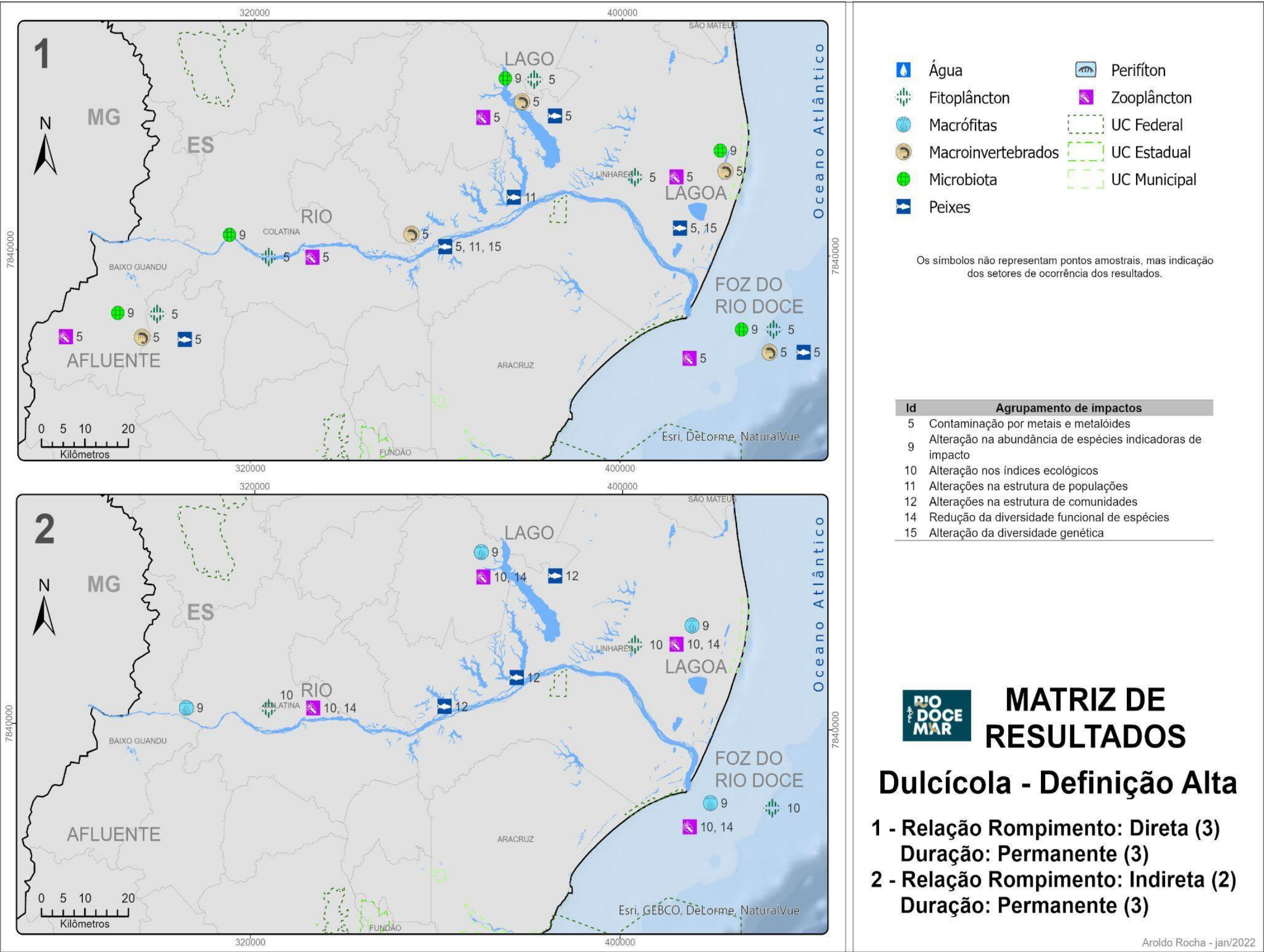


Figura 25: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Costeiro considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 2).

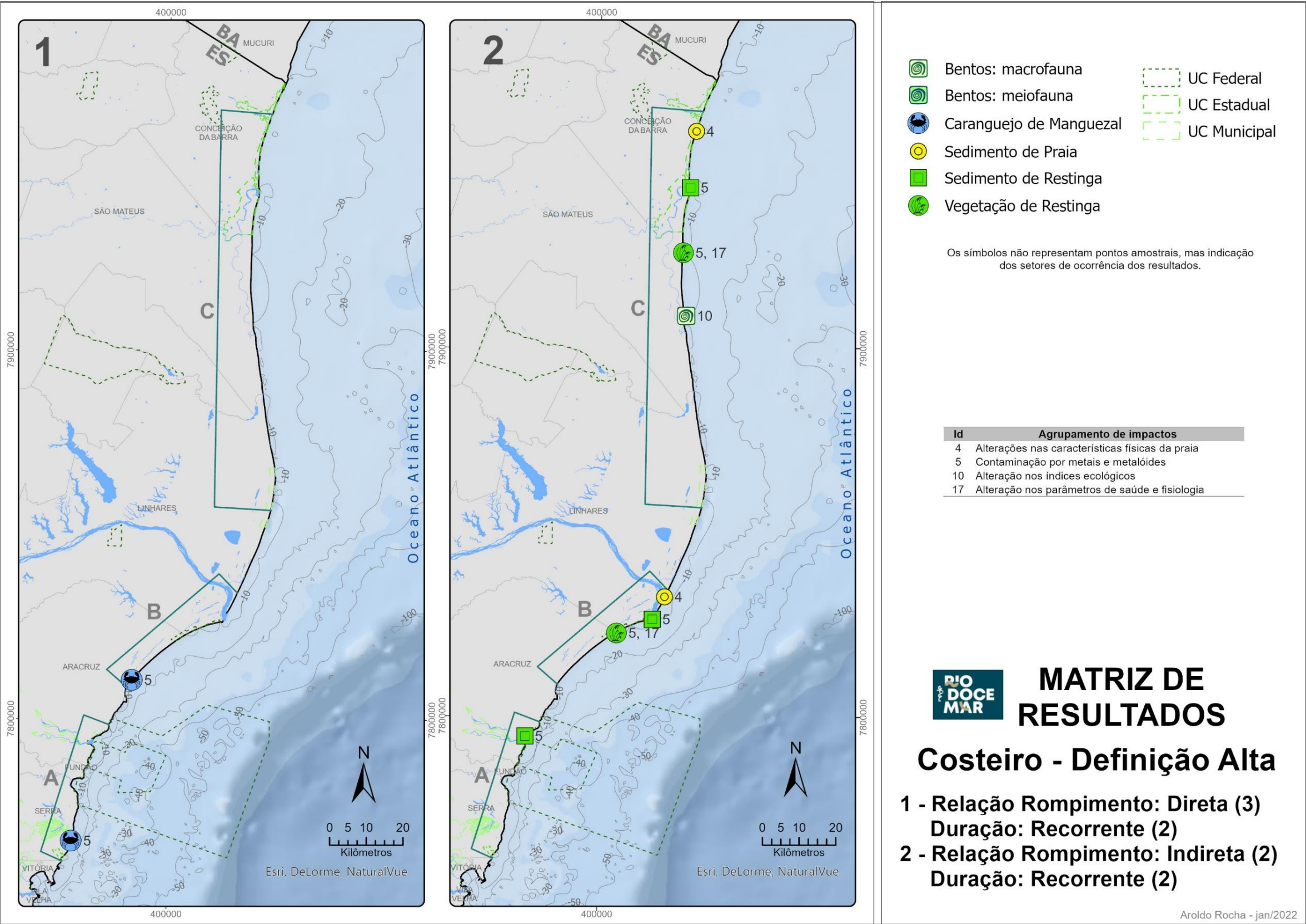


Figura 26: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Costeiro considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 2).

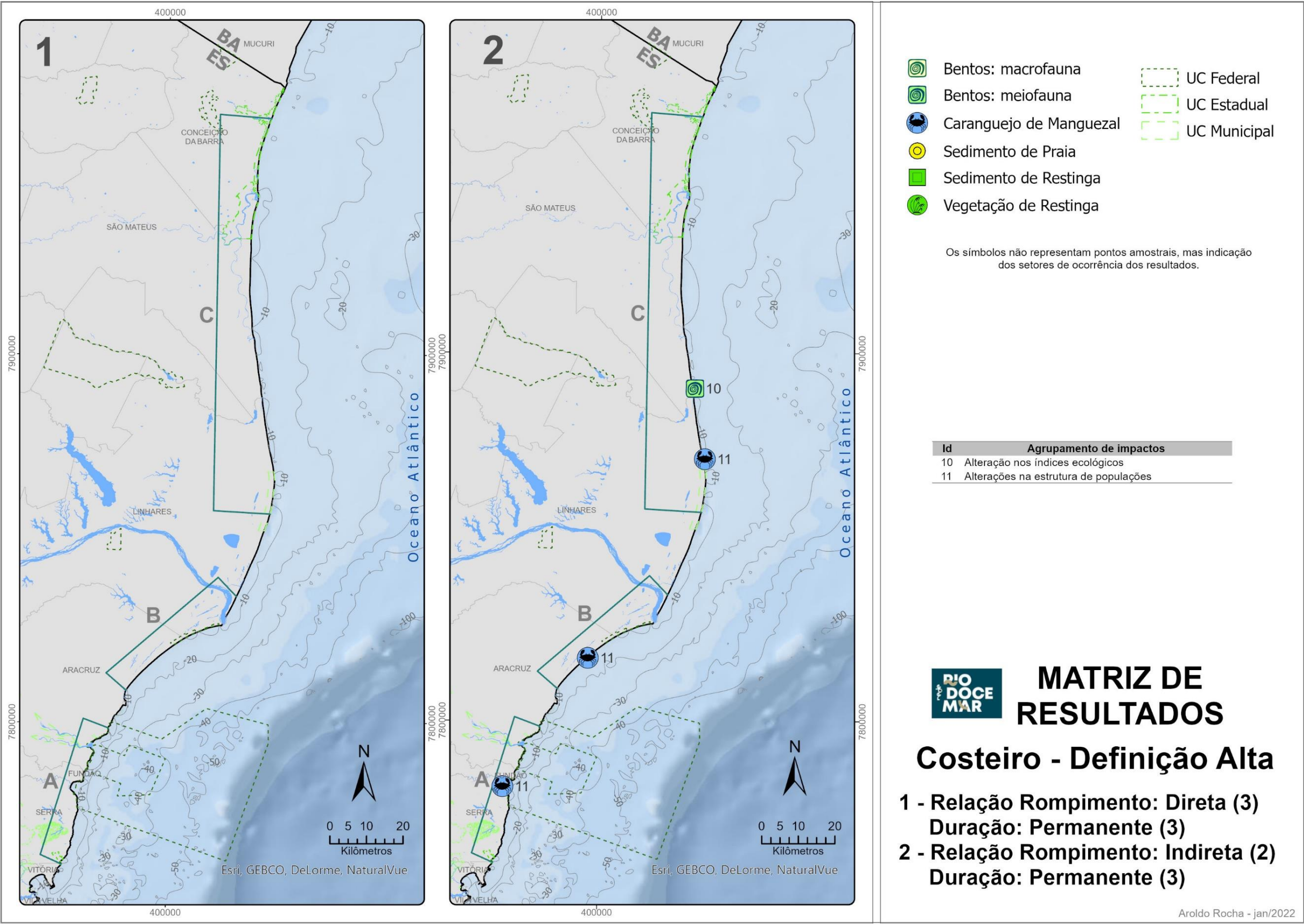


Figura 27: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Marinho considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Recorrente (Gráfico 2).

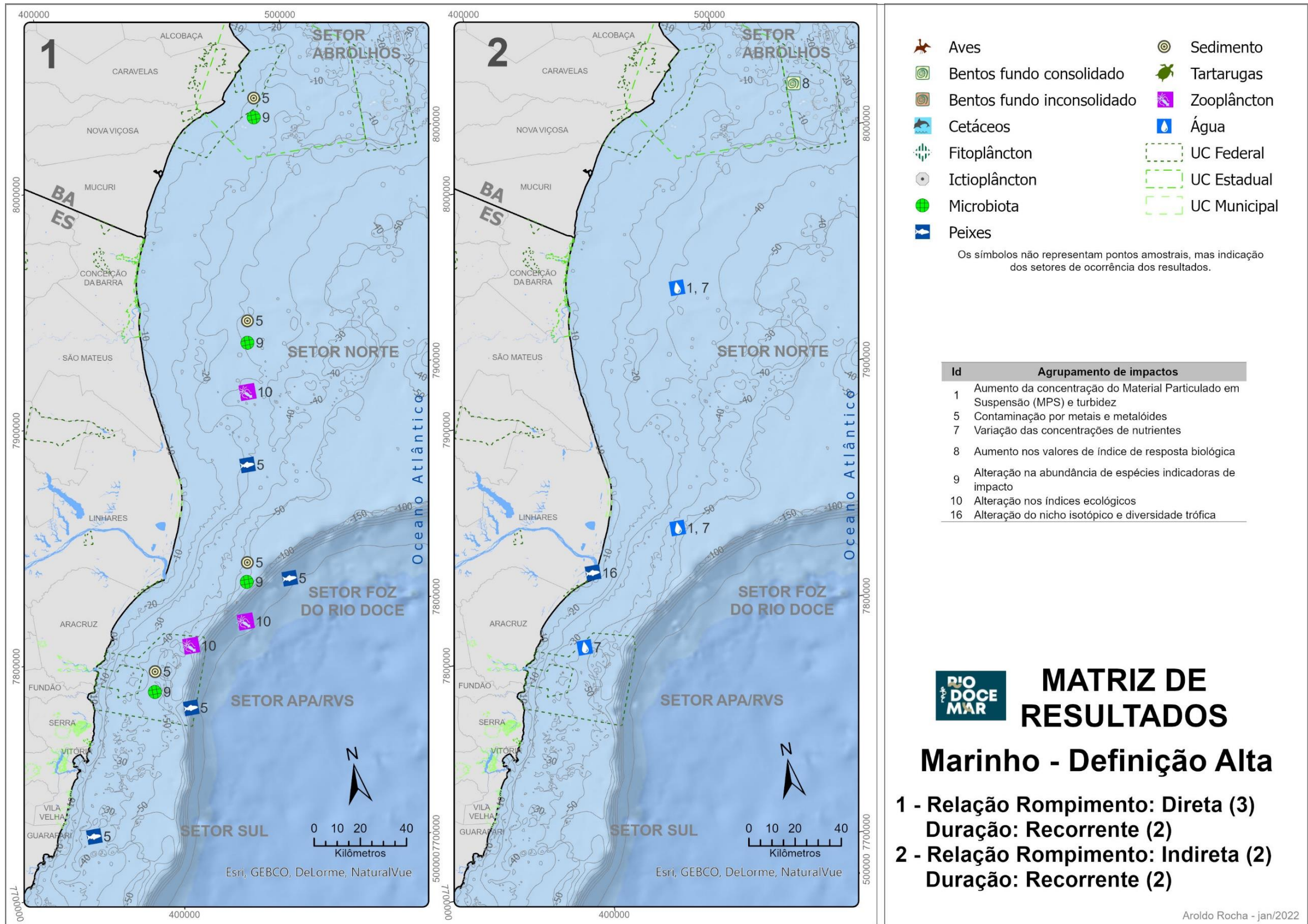
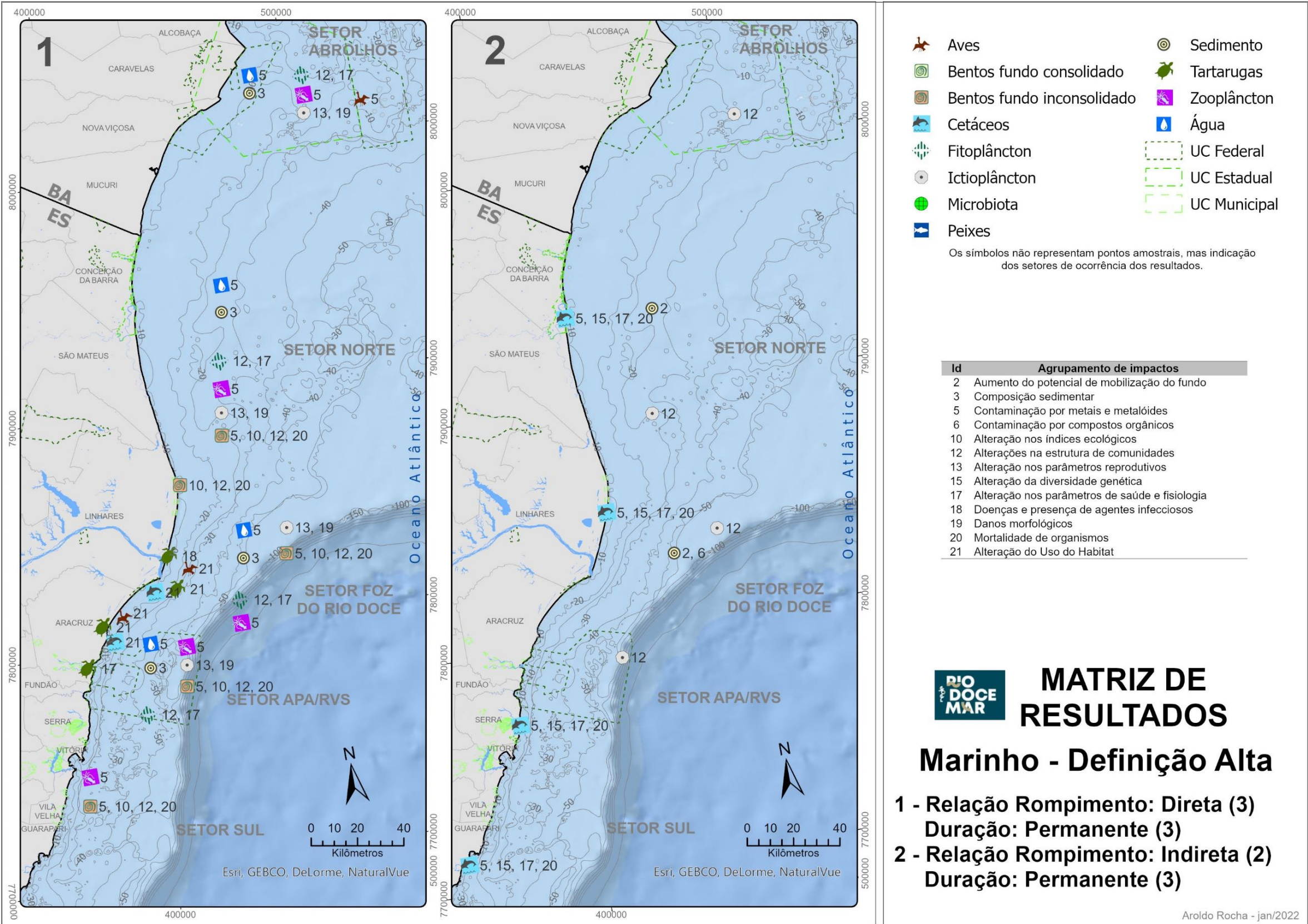


Figura 28: Mapa de espacialização dos resultados para o Ambiente Marinho considerando-se os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Direta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 1), bem como os impactos com a pontuação máxima para o critério Definição, Relação Indireta com o rompimento da barragem e duração Permanente (Gráfico 2).

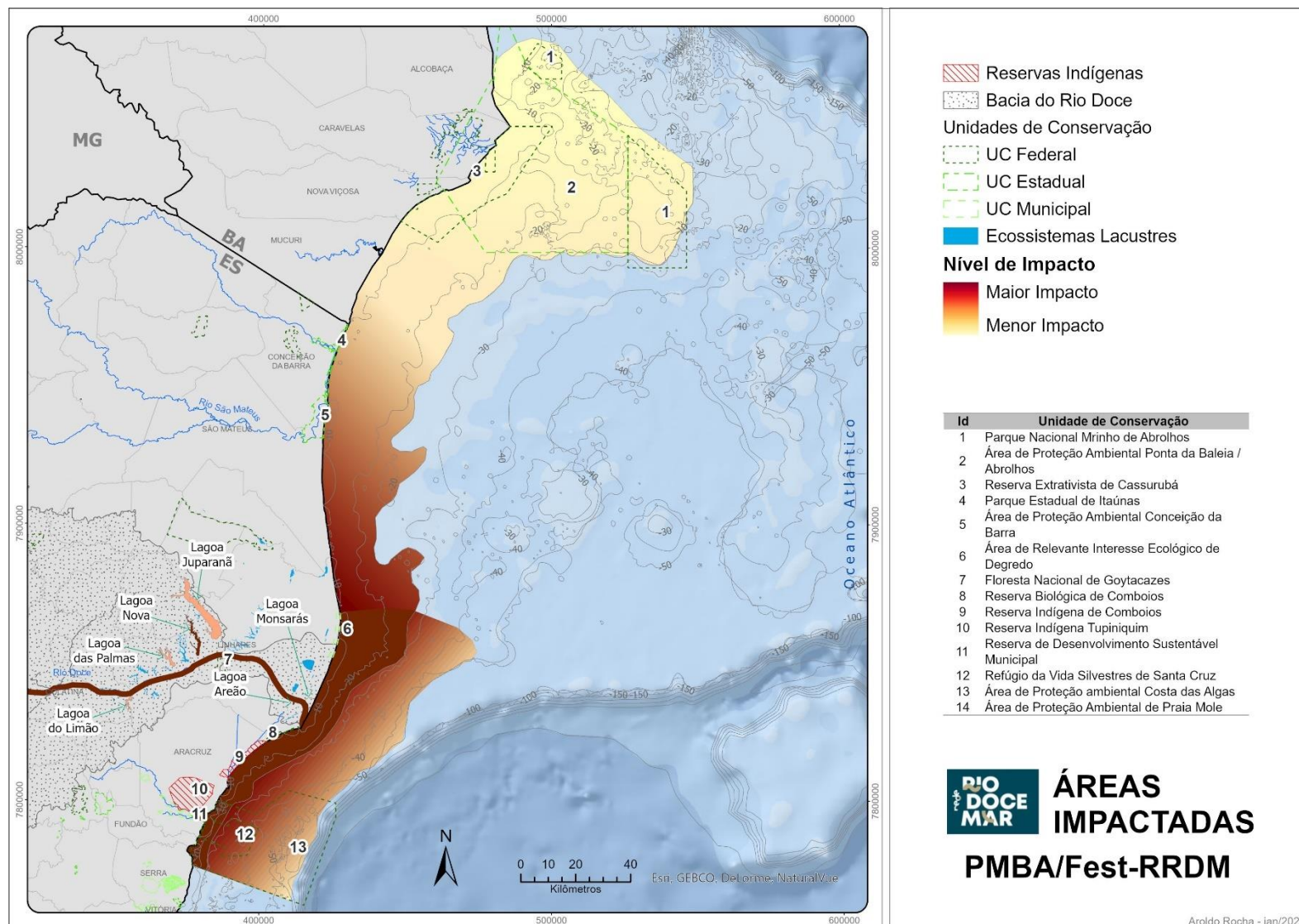


Avaliando a macro distribuição dos casos de impactos nos mapas apresentados acima, com o conhecimento específico da distribuição desses impactos, tendo em vista a localização das estações amostrais, foi possível, de forma mais sistemática, propor as áreas impactadas pelo rompimento da Barragem de Fundão, bem como indicar seus possíveis limites graduais. O mapa gerado está representado na Figura 29. Neste contexto, cabe ressaltar que o monitoramento ambiental executado no escopo do TR4 não tem definida uma escala de amostragem. Por ser um monitoramento baseado na biodiversidade, a distribuição das estações segue um padrão de amostragem baseado em critérios ambientais, tais como distância da costa ou da foz, gradiente de profundidade, distribuição de habitats, morfologia da costa ou do fundo, padrões hidrodinâmicos, variação de salinidade, dentre outros. Isso significa que não existe uma malha amostral regularmente distribuída no espaço, ou seja, baseada em uma escala espacial pré-definida. Assim, a representatividade de uma área se dá pelo conjunto de estações que estão ali representando algum critério ambiental definido.

No caso do PMBA/Fest-RRDM, foi feita uma análise da distribuição das estações amostrais e, com base na morfologia, tipos de fundo e habitat, foram definidos setores ao longo da costa e do mar. No Ambiente Marinho, também houve uma setorização pelo gradiente de profundidade, considerando-se a ação hidrodinâmica e a distribuição dos sedimentos. No Ambiente Costeiro, a tipologia das praias foi um critério dominante na definição dos 3 compartimentos avaliados. Os limites das áreas impactadas foram detalhados em função dessa setorização ou agrupamento de estações, que, por sua vez, representam setores com faixas de profundidade ou morfologia e tipo de fundo similares, ou ainda compartimentos costeiros distintos. No Ambiente Dulcícola, esta setorização levou em consideração a calha principal do Rio Doce, seus tributários, bem como os lagos e lagoas associadas

Por fim, cabe ressaltar que o mapa de áreas impactadas gerado e apresentado no presente relatório não está limitando ou quantificando o impacto em maior ou menor grau de importância ou magnitude, mas sim está apontando para as áreas onde os impactos foram reconhecidos e definidos (Figura 29). O gradiente de energia da alteração ambiental geralmente varia em função da distância da fonte do impacto. Neste caso, vale lembrar que o Rio Doce é a fonte carreadora do impacto, logo o Ambiente Dulcícola responde às alterações naturais e antrópicas que ocorrem na bacia hidrográfica. Neste sentido, é importante destacar que, conforme os resultados das análises realizadas no âmbito do PMBA/Fest-RRDM, o Baixo Rio Doce está definido como área impactada pelo rompimento da Barragem de Fundão, como ficou claramente demonstrado na Matriz de Resultados obtida para o Ambiente Dulcícola. O conjunto de alterações observadas nos organismos do Baixo Rio Doce sugere que a passagem do rejeito de minério impactou uma condição de habitat fragmentado na calha do rio e em relação aos seus afluentes. No caso dos Ambientes Costeiro e Marinho, também existe o reflexo do que acontece na bacia hidrográfica como um todo. Porém, neste caso, a foz do Rio Doce, em Regência, é considerado o ponto carreador do impacto, a partir do qual o gradiente de atenuação dos impactos poderia ser medido, já que existe uma tendência de que haja uma diminuição da energia do impacto direto nas áreas mais distantes à foz do Rio Doce. Por fim, cabe ressaltar que, como demonstrado no presente relatório, os impactos foram reconhecidos, medidos, classificados e apresentados, considerando-se os critérios previamente estabelecidos e devidamente justificados.

Figura 29: Mapa de identificação de áreas impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão no âmbito do PMBA/Fest-RRDM.



3.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS MATRIZES DE RESULTADOS APRESENTADAS NO RA2020 E NO RA2021

A seguir são apresentados os resultados relativos à análise comparativa das Matrizes de Resultados do presente relatório (RA2021), em relação às apresentadas no relatório anterior (RA2020) elaborado pelo Fest-RRDM. Cabe destacar que essa análise comparativa foi realizada apenas para os critérios presentes nas Matrizes de Resultados de ambos os relatórios, a saber: Sedimentologia (Figura 30), Química (Figura 31), Ecotoxicologia (Figura 32), Ecologia (Figura 33), Genética (Figura 34), Saúde (Figura 35) e Comportamento (Figura 36). Vale lembrar que a categoria Hidrodinâmica foi apresentada apenas no RA2020, enquanto que o critério Relação com o Rompimento da barragem está sendo apresentado apenas no presente relatório. Cabe destacar também que a análise comparativa foi realizada considerando-se em conjunto os dados consolidados para os três ambientes estudados (Dulcícola, Costeiro e Marinho).

Para o critério Caráter, não foram observadas diferenças consideráveis entre as matrizes dos dois anos para as categorias Sedimentologia, Genética e Comportamento. Nos casos das categorias Ecotoxicologia, Química, Ecologia e Saúde, foram observados percentuais menores de impactos com pontuação menor e percentuais mais elevados de impactos com pontuação média na Matriz de Resultados do RA2021, indicando que houve uma redução nos efeitos negativos entre os fatores associados.

No que se refere ao critério Definição, houve um aumento do percentual de impactos classificados com pontuação maior na Matriz de Resultados do RA2021 para todas as categorias analisadas, à exceção da Saúde e Comportamento. O aumento no percentual de impactos com pontuação maior indica que uma maior proporção dos impactos identificados no RA2021 está baseada em referências que utilizam dados pretéritos ao impacto ou que possuem correlação com os principais metais encontrados no rejeito da barragem (referências A, B e/ou D). No caso das categorias Saúde e Comportamento, foi observado um aumento no percentual de impactos com pontuação menor no RA2021, em relação ao RA2020. Isso indica que uma maior proporção dos impactos identificados se baseia em referências que utilizam dados equivalentes para comparação ou que foram coletados ao longo dos 3 anos de monitoramento, após o rompimento da barragem (referências C, E e/ou H).

Quanto ao critério Abrangência Espacial, foi observado um aumento no percentual de impactos classificados com pontuação maior na Matriz de Resultados do RA2021, em relação à Matriz de Resultados do RA2020, para todas as categorias analisadas, à exceção da Sedimentologia e do Comportamento. O aumento no percentual de impactos com pontuação maior indica que uma maior proporção dos impactos identificados no RA2021 foi verificada em mais de 1 setor estudado (abrangência regional). No caso das categorias Sedimentologia e Comportamento, foi observado um aumento no percentual de impactos com pontuação média no RA2021, em relação ao RA2020. Isso indica que uma maior proporção dos impactos identificados nestas duas categorias foi verificada em apenas 1 setor estudado (abrangência local).

Quanto ao critério relativo ao nível ambiental/trófico, as categorias Química e Sedimentologia apresentaram percentuais maiores de impactos classificados com menor pontuação na Matriz de Resultados do RA2021 do que naquele apresentado no RA2020, indicando que uma maior proporção dos impactos identificados ficou restrita ao respectivo compartimento abiótico (água e/ou sedimento). As categorias Ecotoxicologia e Ecologia apresentaram maiores percentuais de impactos classificados com uma pontuação média na Matriz de Resultados do RA2021 do que naquela descrita no RA2020, indicando que houve um aumento na proporção de impactos que alcançaram a base da cadeia trófica (vegetação, corais, plâncton e bentos). Por sua vez, as categorias Genética e Comportamento apresentaram a totalidade dos impactos classificados com a pontuação maior, tanto na Matriz de Resultados do RA2020 quanto naquela do RA2021, tendo em vista que estes impactos são identificados nos níveis superiores da cadeia trófica (peixes, aves e megafauna).

Com relação ao critério associado à Duração dos impactos, foi observado que o percentual de impactos classificados com pontuação maior foi menor na Matriz de Resultados do RA2021 do que na Matriz de Resultados apresentada no RA2020, indicando uma redução na proporção de impactos que são sempre verificados ao longo do tempo, independente do período ou das condições existentes quando o monitoramento foi realizado. Este resultado foi observado para todas as categorias analisadas, à exceção das categorias Genética e Comportamento. No caso da categoria Genética, a totalidade dos impactos foram classificados com a pontuação maior, nas Matrizes de Resultados de ambos os relatórios anuais (RA2020 e RA2021). Por sua vez, a categoria Comportamento demonstrou um aumento importante no percentual de impactos classificados com pontuação maior na Matriz de Resultados do RA2021, indicando assim um incremento temporal na proporção de impactos que são sempre verificados, independente do período ou das condições existentes quando o monitoramento foi realizado.

Por fim, a totalidade dos impactos identificados e descritos nas Matrizes de Resultados apresentadas no RA2020 e RA2021 foram classificados com pontuação menor para o critério Reversibilidade, à exceção para a categoria Genética, onde a totalidade dos impactos agrupados nesta categoria receberam uma pontuação média nas Matrizes de Resultados de ambos os relatórios anuais (RA2020 e RA2021). Isto indica que a totalidade dos impactos observados são passíveis de serem revertidos se a qualidade da água e do sedimento, e consequentemente a biodiversidade aquática tenham condições de retornarem aos níveis/condições aceitáveis/anteriores. No caso dos impactos genéticos, estes foram sempre considerados como sendo parcialmente reversíveis, mas desde que a qualidade da água e do sedimento e de interconectividade, permitam que a biodiversidade aquática tenha condições de retornar aos níveis/condições aceitáveis embora diferentes daquelas vigentes antes do rompimento da Barragem de Fundão.

Figura 30: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Sedimentologia na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 5 não nulos, 0 nulos; RA 2021 = 6 não nulos, 0 nulos).

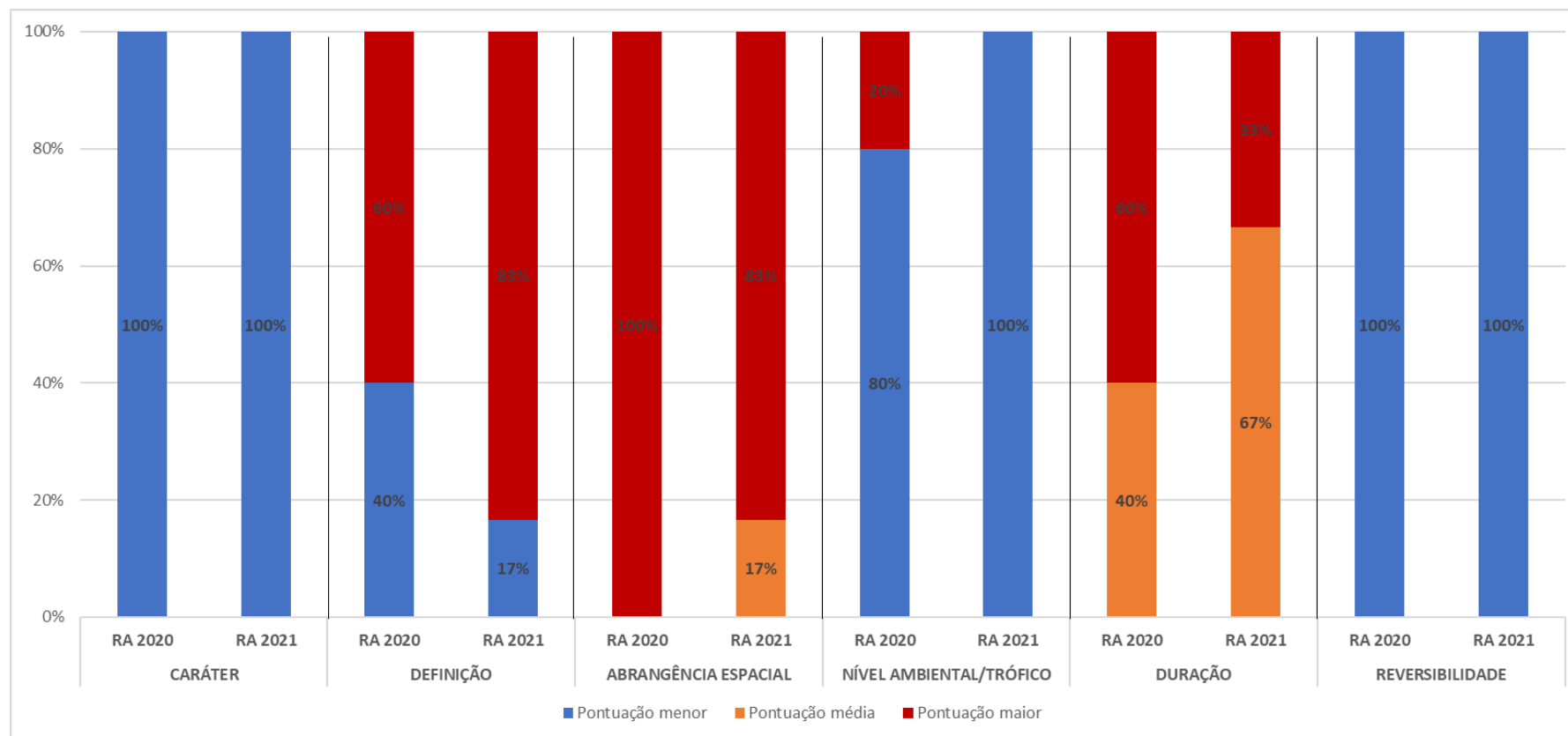


Figura 31: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Química na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 33 não nulos, 4 nulos; RA 2021 = 30 não nulos, 6 nulos).

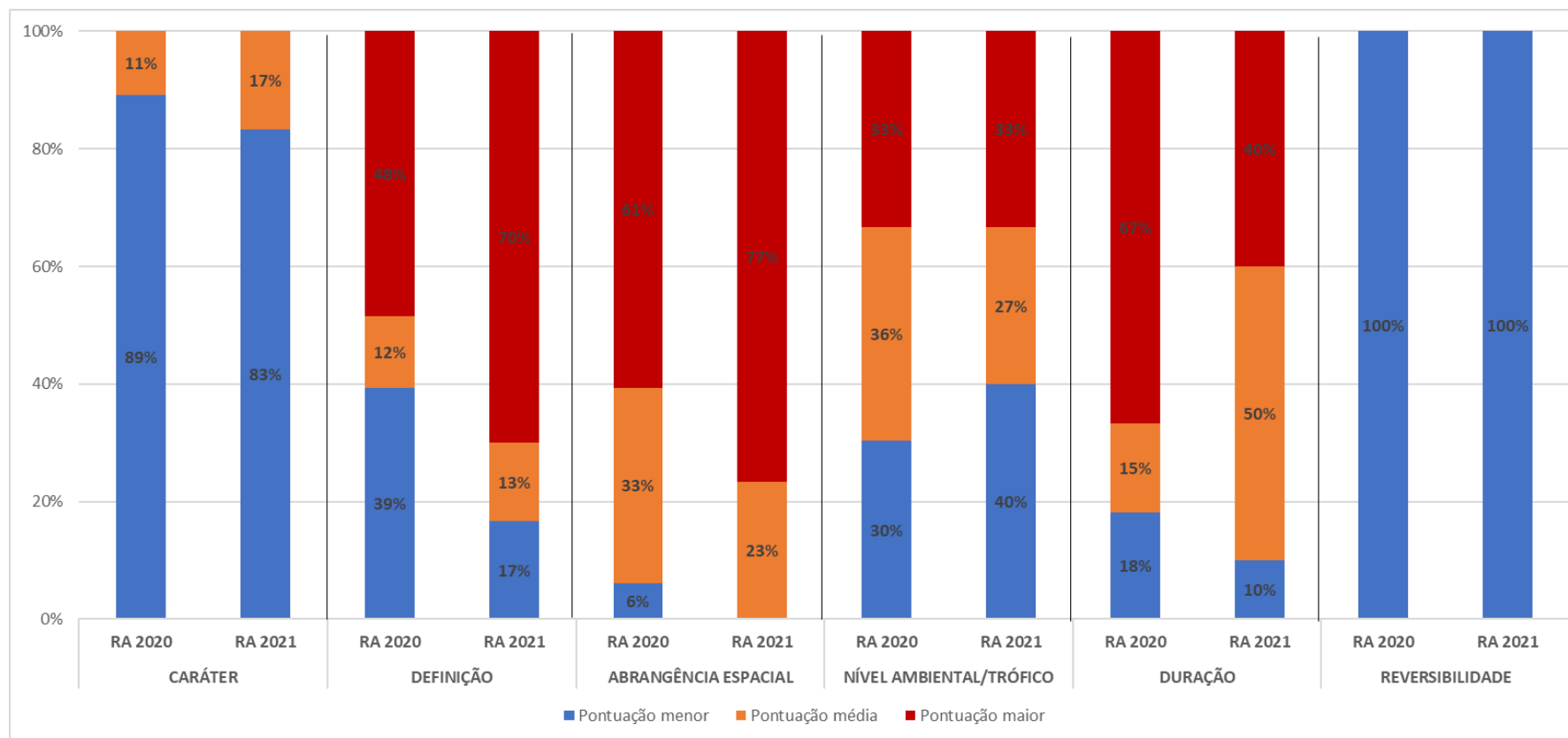


Figura 32: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Ecotoxicologia na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 14 não nulos, 2 nulos; RA 2021 = 14 não nulos, 6 nulos).

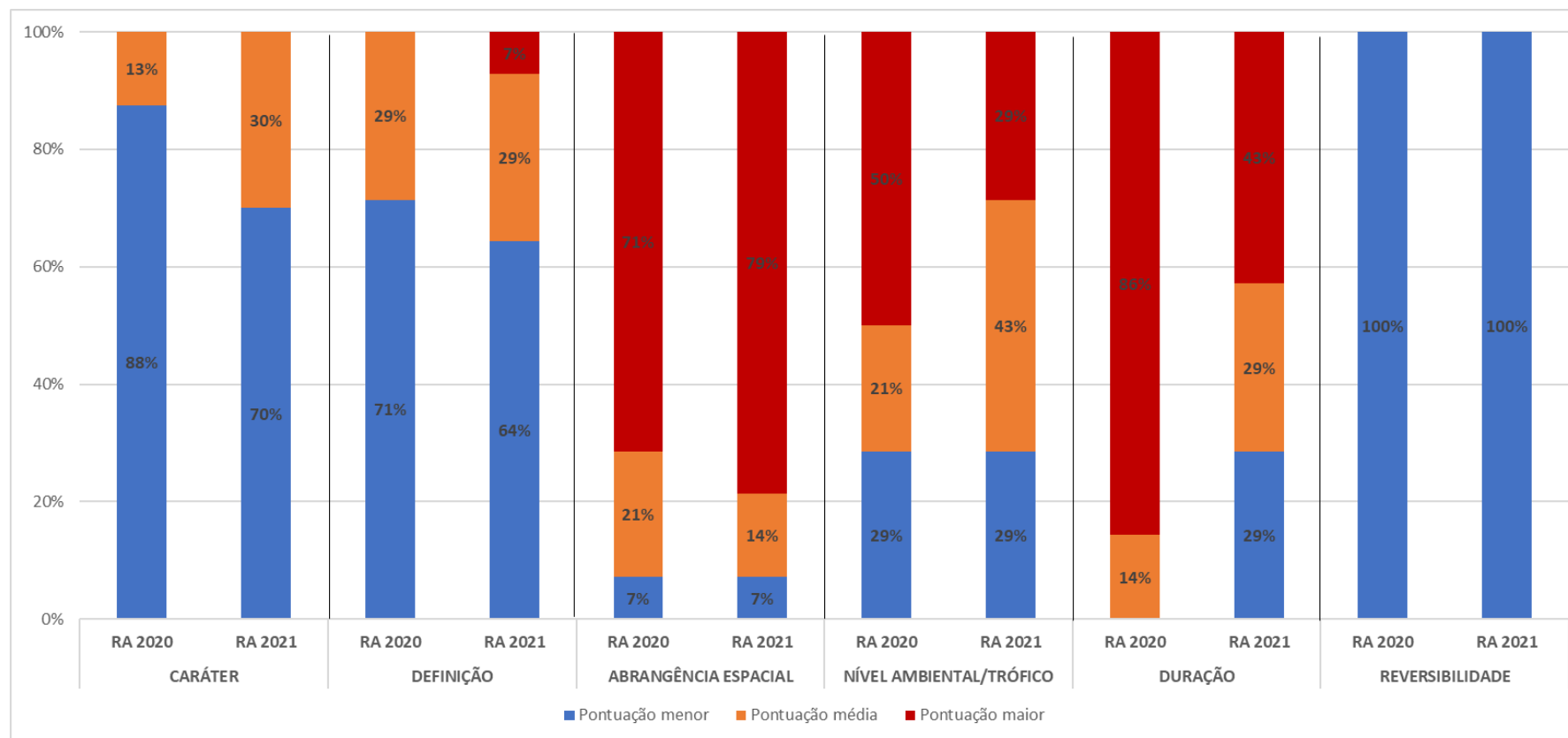


Figura 33: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Ecologia na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 30 não nulos, 20 nulos; RA 2021 = 41 não nulos, 61 nulos).

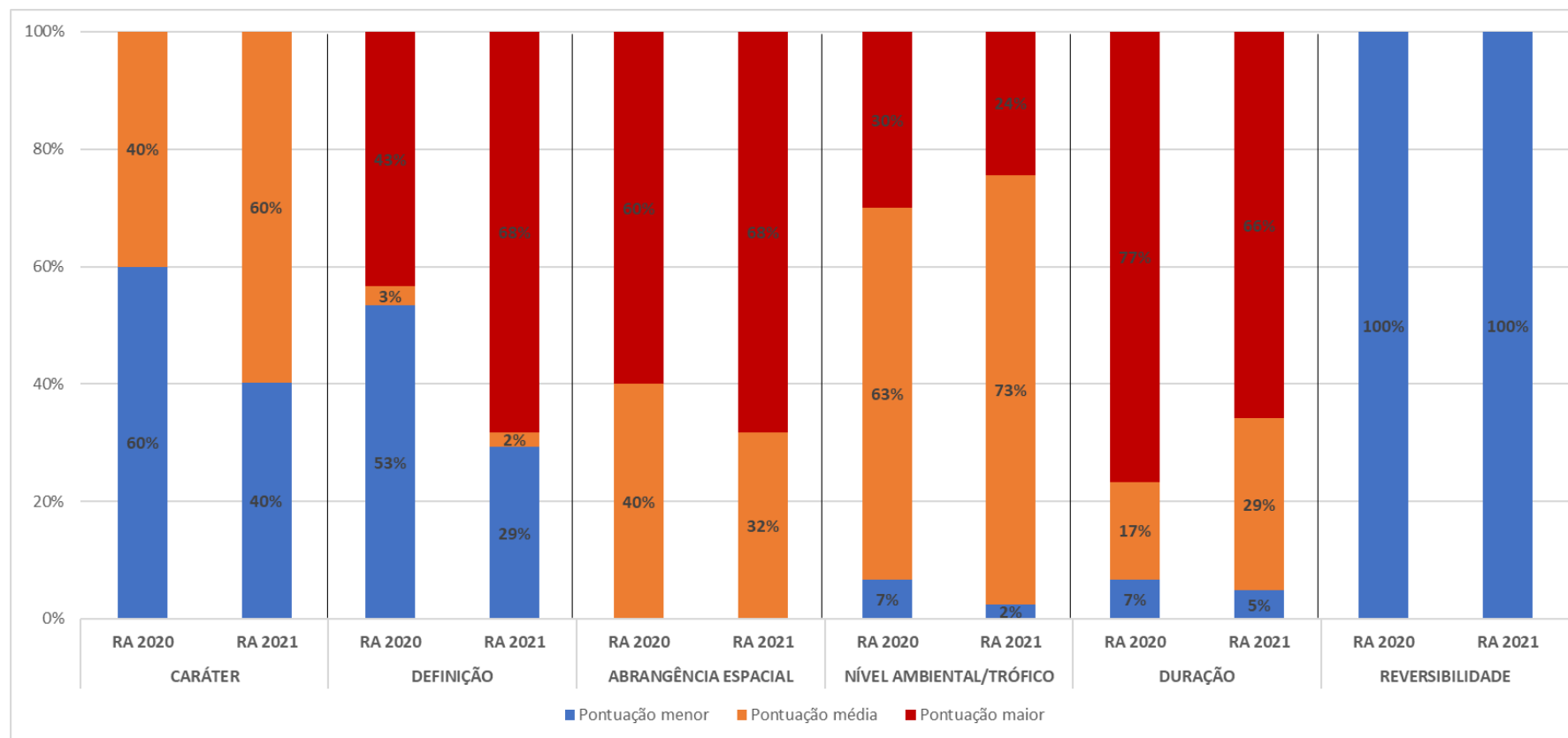


Figura 34: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Genética na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 4 não nulos, 0 nulos; RA 2021 = 6 não nulos, 0 nulos).

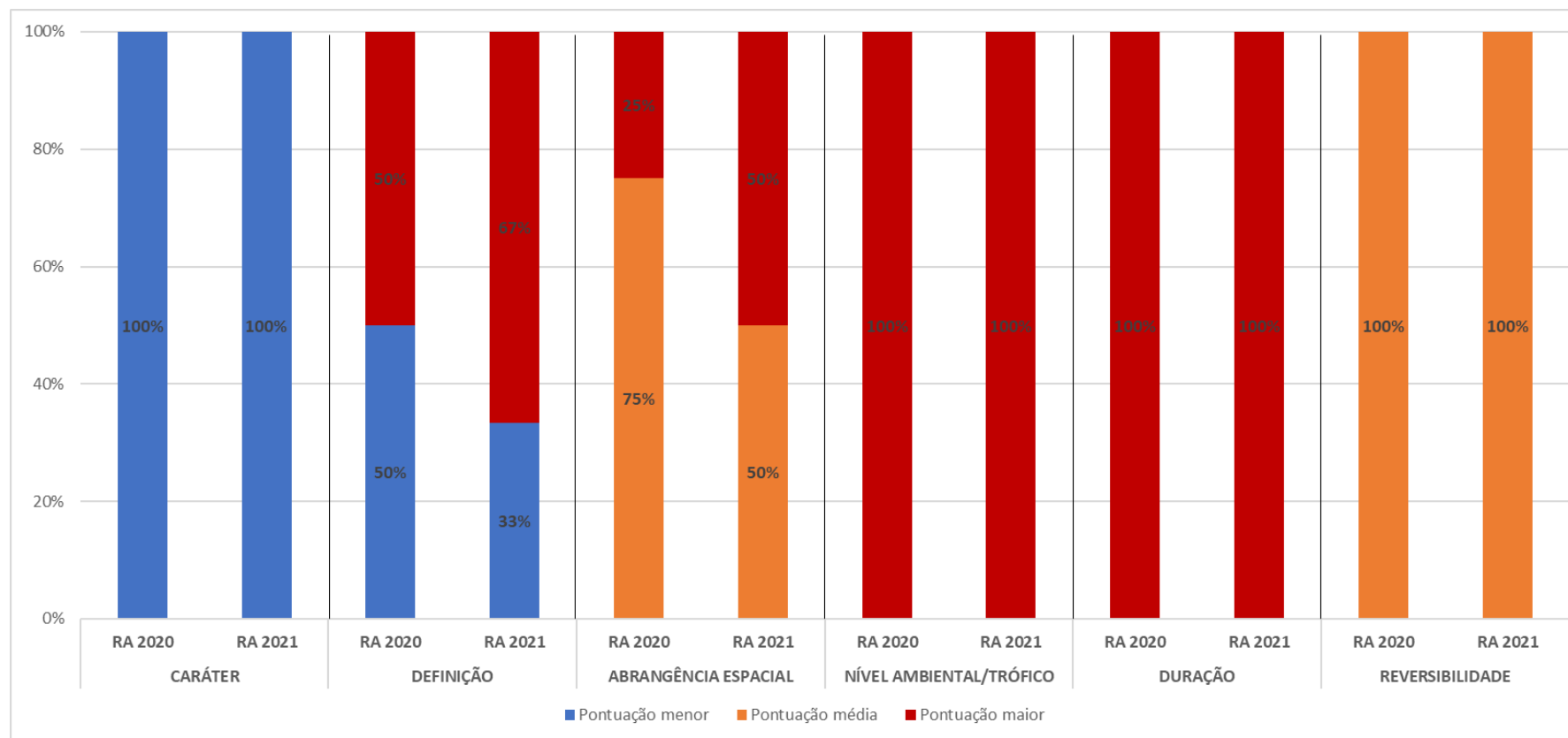


Figura 35: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Saúde na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 9 não nulos, 7 nulos; RA 2021 = 16 não nulos, 28 nulos).

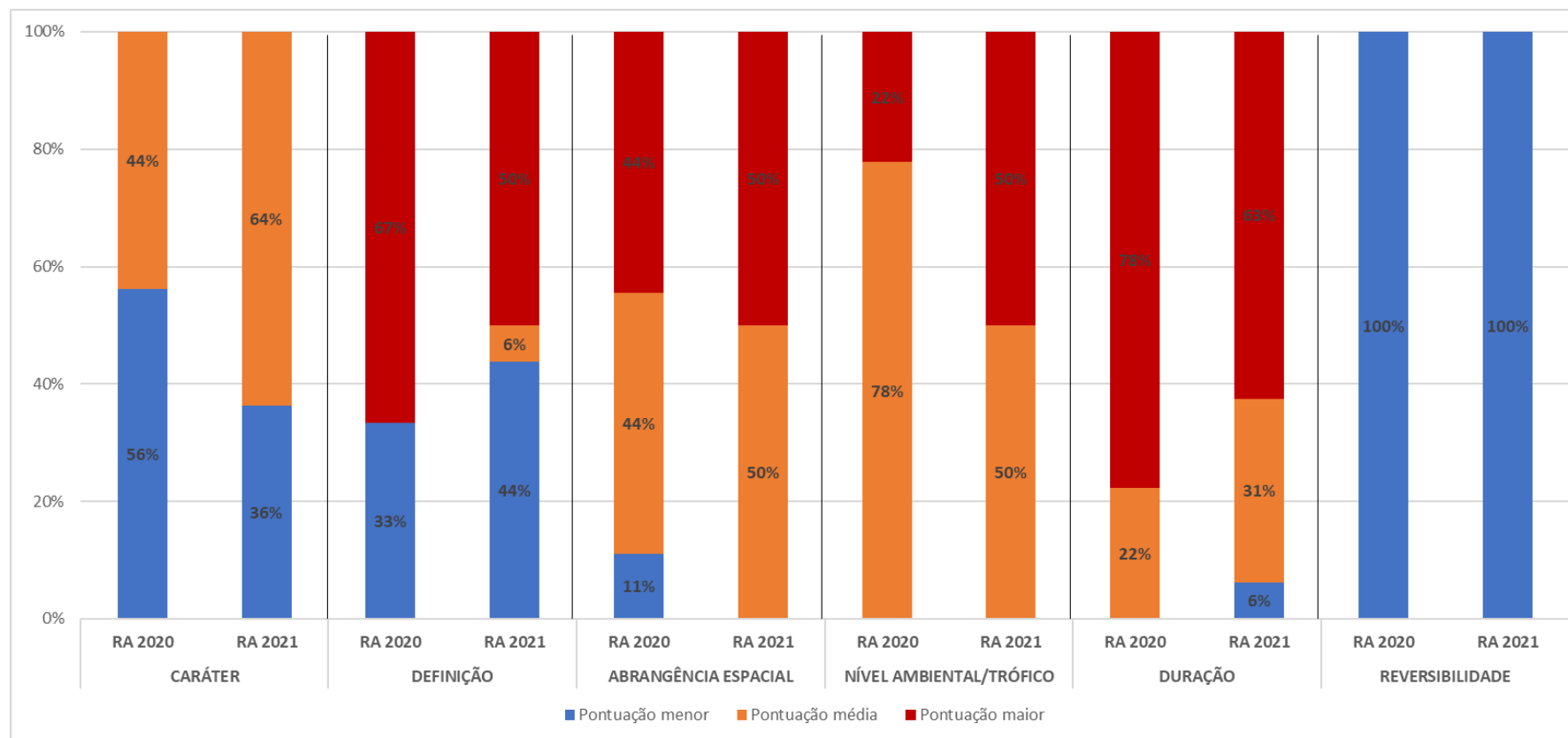
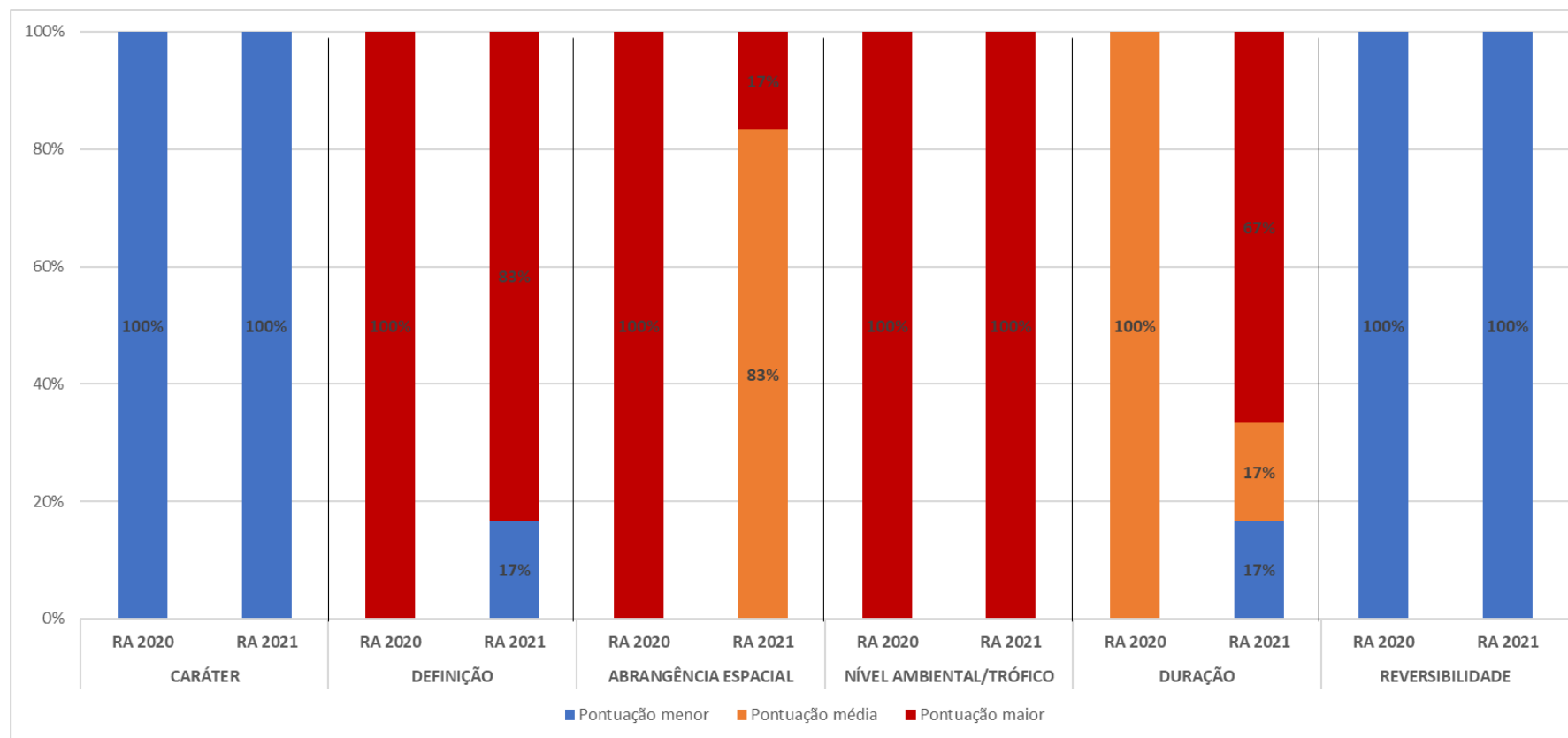


Figura 36: Gráficos representando a classificação dos critérios nos impactos da categoria Comportamento na Matriz de Resultados do RA 2021 (atual) comparada àquela apresentada na Matriz de Resultados do RA 2020 (RA 2020 = 1 não nulo, 0 nulos; RA 2021 = 6 não nulos, 0 nulos).



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos a partir dos estudos realizados ao longo dos três anos de execução do PMBA/Fest-RRDM permitem uma compreensão temporal e espacial abrangente dos impactos causados pela passagem e permanência do rejeito de minério e elementos (metais e metalóides) a ele associados nas matrizes abióticas e bióticas dos ecossistemas na área compreendida pelo escopo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I.

As Matrizes de Resultados apresentadas no presente relatório (RA2021) indicam claramente que a extensa área afetada direta ou indiretamente pelo rompimento da Barragem de Fundão nos Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho permanece a mesma desde a ocorrência do evento em novembro/2015 até os dias de hoje. Conforme apresentado no presente documento, no Ambiente Dulcícola esta área compreende a calha principal do Rio Doce em sua porção capixaba, seus afluentes, lagos e lagoas associadas, bem como sua região estuarina. No Ambiente Costeiro, os ecossistemas afetados incluem as praias, manguezais e restinga, especialmente na região litorânea compreendida entre Degredo, ao norte da foz do Rio Doce, e a APA Costa das Algas/REVIS de Santa Cruz, ao sul da foz do Rio Doce. No Ambiente Marinho, a área afetada compreende especialmente os setores Norte, Foz e Sul da desembocadura do Rio Doce, desde a margem continental até a isóbata de 50 m de profundidade e numa área que também se estende desde Degredo até a APA Costa das Algas/REVIS de Santa Cruz.

Cabe destacar que a totalidade dos impactos observados foram considerados nulos ou negativos, não tendo sido, portanto, identificados impactos positivos associados ao rompimento da Barragem de Fundão na área de escopo do PMBA/Fest-RRDM. Os impactos negativos identificados estão associados à Sedimentologia, Química, Ecotoxicologia, Ecologia, Genética, Saúde e Comportamento. Cabe destacar também que a grande maioria dos impactos negativos identificados na área em estudo tem relação direta ou indireta com o rompimento da Barragem de Fundão, sendo que aproximadamente 50% dos impactos observados nos Ambientes Dulcícola e Costeiro, bem como 70% dos impactos identificados no Ambiente Marinho, foram identificados com base em referências que utilizam dados coletados previamente ao impacto ou que possuem correlação com os principais metais encontrados no rejeito da Barragem de Fundão.

Visando o manejo e gerenciamento da área afetada, é importante destacar também que a grande maioria dos impactos identificados na área de escopo do PMBA/Fest-RRDM tem abrangência espacial em uma escala regional e estão afetando a base da cadeia trófica dos ecossistemas dulcícolas (vegetação, plâncton e bentos) e até mesmo os níveis superiores da cadeia trófica dos ecossistemas costeiros e marinhos (caranguejos, peixes, aves e megafauna). Esse fato demonstra claramente que a evolução temporal do comportamento esperado para um evento da natureza do rompimento da Barragem de Fundão está em pleno curso, evidenciando atualmente seus efeitos mais crônicos, duradouros e de maior importância ecológica, especialmente quando são considerados os diferentes níveis tróficos afetados e os danos causados ao patrimônio genético da biodiversidade aquática na área impactada. Neste contexto, é de suma importância destacar o fato de que a grande maioria dos

impactos tem duração permanente, especialmente nos Ambientes Dulcícola e Marinho, ou seja, estão sendo sempre verificados nestes ambientes, independente do período ou das condições existentes quando o monitoramento é realizado. Por sua vez, a grande maioria dos impactos identificados no Ambiente Costeiro é recorrente, ou seja, os efeitos negativos têm sido verificados especialmente em períodos sazonais como, por exemplo, durante os períodos chuvosos ou períodos secos. No que concerne ao potencial de reversibilidade dos impactos negativos observados na área de abrangência do PMBA/Fest-RRDM, denota-se que a grande maioria deles (>94%) pode ser considerada como sendo reversível ao longo do tempo. No entanto, para que tal reversibilidade se efetive devem ser adotadas medidas adequadas de mitigação, reparação e conservação das condições abióticas e bióticas dos ecossistemas em avaliação. Para uma efetiva recuperação dos ecossistemas impactados, é imperioso que medidas sejam adotadas visando o retorno de condições abióticas e bióticas semelhantes ou melhores que aquelas observadas no período pré-rompimento da Barragem de Fundão.

Por fim, cabe registrar que a manutenção, em longo prazo, do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA) poderá documentar as tendências futuras das condições ambientais e da biodiversidade nos diferentes ecossistemas em avaliação, visando subsidiar novas medidas que mitiguem os efeitos associados ao rompimento da Barragem de Fundão, bem como permitir a avaliação crítica da efetividade das medidas já efetuadas ou em fase de implementação.

5 REFERÊNCIAS

EKOS. 2021. Análise Crítica (peer-review) da Matriz de Resultados do Relatório Anual 2020 do PMBA/Fest-RRDM (RT-36F RRDM/DEZ 20). **Peer-reviewer especialista em avaliação de impacto ambiental: Alberto Fonseca.** Ordem de Serviço nº 37.

LEOPOLD L.B, CLARKE F.E., HANSHAW B.B., BALSLEY J.R. **A procedure for evaluating environmental impact.** Geological Survey Circular, Washington, n. 645, p. 1-16. 1971

GLASSON J, THERIVEL R, CHADWICK A. **Introduction to Environmental Impact Assessment.** London and New York: Routledge; 2005.

MEFFE, G.K.; GROOM, M.J.; CARROLL, C.R. **Ecosystem approaches to conservation. Responses to a complex world.** In: pp.467-507. Principles of Conservation Biology 3ª Edição Sinauer Associates Inc. Sunderland, Massachusetts, Estados Unidos, 2006

RRDM, Rede Rio Doce Mar. **Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – Matriz de Resultados Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho.** RT-36F, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 50 pag. 2020.