



PROJETO DETALHADO
ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA
Meio Ambiente

Bacia de Rio Paraopeba

GRUPO EPA – ENGENHARIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

Março, 2021

SUMÁRIO

GLOSSÁRIO	5
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
4 ABRANGÊNCIA DO PROJETO	19
5 PREMISSAS TÉCNICAS	20
5.1 RISCO CARCINOGENICO E RISCO NÃO CARCINOGENICO	20
5.2 RISCO ADICIONAL	20
5.3 RISCO CUMULATIVO	21
5.4 ACREDITAÇÃO LABORATORIAL	21
5.5 PADRÕES LEGAIS APLICÁVEIS	22
5.5.1 SOLO SUPERFICIAL	22
5.5.2 SOLO SUBSUPERFICIAL	22
5.5.3 SEDIMENTO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL	22
5.5.4 ÁGUA SUBTERRÂNEA	23
5.5.5 ÁGUA DE ABASTECIMENTO	23
5.5.6 ÁGUA SUPERFICIAL	23
5.5.7 POEIRA DOMICILIAR	23
5.5.8 ALIMENTOS DE ORIGEM ANIMAL E VEGETAL	24
5.6 EQUIPES TÉCNICAS	24
6 EXCLUSÕES E LIMITAÇÕES	26
7 FONTES PRIMÁRIAS POTENCIAIS LIGADAS AO ROMPIMENTO	27
8 ÁREAS ALVO (AA_{MA})	29
9 AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE DADOS AMBIENTAIS	32
9.1 DADOS ANALÍTICOS	35
9.2 DADOS DO MEIO FÍSICO	39
9.3 AVALIAÇÃO DE SUFICIÊNCIA E REPRESENTATIVIDADE	43

9.3.1	SELEÇÃO DE ANALITOS	44
9.3.2	TRATAMENTO DE DADOS	45
9.3.3	ANALITOS CRÍTICOS E PARÂMETRO DE RISCO (Cs)	45
9.3.4	ANÁLISE DE SUFICIÊNCIA DE DADOS VÁLIDOS	46
9.3.5	CONCLUSÕES DA AVALIAÇÃO DE SUFICIÊNCIA E REPRESENTATIVIDADE	59
10	<u>AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA (MEIO AMBIENTE)</u>	60
10.1	COMPILAÇÃO, ANÁLISE E VALIDAÇÃO DE DADOS	61
10.1.1	COMPILAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS SECUNDÁRIOS	62
10.1.2	VALIDAÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS	65
10.1.3	MODELO CONCEITUAL DA ÁREA	65
10.1.4	PLANO DE INVESTIGAÇÃO PARA MEIO AMBIENTE	67
10.2	AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO	78
10.2.1	CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO	79
10.2.2	QUANTIFICAÇÃO DO INGRESSO	86
10.2.3	ANÁLISE DE TOXICIDADE	88
10.2.4	CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	89
10.2.5	ANÁLISE DE INCERTEZAS E SENSIBILIDADE	91
10.2.6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	93
11	<u>REFERÊNCIAS</u>	94

APÊNDICES

APÊNDICE 01 – Metodologia para Análise de Suficiência e Representatividade

GLOSSÁRIO¹

Áreas alvo: Representações espaciais delimitadas por microbacias de contribuição hídrica que possuam características similares quanto aos atributos físicos, de seu uso e ocupação do solo, populações potencialmente expostas e alterações ambientais causadas pelo rompimento da barragem B-I.

Analito: Substância ou componente químico, em uma amostra, que é alvo de análise ou tem interesse para análise.

ANOVA: Análise de variância de um fator (F), com o objetivo de avaliar se a região de exposição é um fator significativo para explicar a ocorrência das concentrações detectadas na Área Alvo.

Área contaminada: Área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger.

Avaliação de risco: Processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos aos receptores expostos aos contaminantes presentes em uma área contaminada.

Caminho ou Rota de exposição: Conjunto de variáveis relacionadas ao transporte de substâncias químicas, desde sua liberação para o ambiente até seu ingresso no organismo de um dado receptor. Um cenário de exposição constitui uma situação única composta por uma fonte de contaminação, pelo mecanismo de liberação das substâncias químicas desta fonte para o ambiente, por mecanismos de transporte dessas substâncias no meio físico, pelo receptor e pela via de ingresso.

Concentração Máxima Aceitável (CMA): Concentração da substância química de interesse acima da qual há necessidade de implementação de medidas de intervenção.

Concentrações basais/background: Concentrações no meio ambiente que podem ter origem natural ou antropogênica e que estavam presentes antes da ocorrência do evento em questão.

Comitê Gestor Pró-Brumadinho: No dia do rompimento da barragem B-I da Mina Córrego do Feijão, foi instituído, temporariamente, o Gabinete de Crise do Estado de Minas Gerais em razão do rompimento, por meio do Decreto com numeração especial 23, de 25 de janeiro de 2019, com o objetivo de mobilizar e coordenar as atividades dos órgãos públicos estaduais e

¹ Fontes Preferenciais: ABNT NBR 16209: 2013, DD 038 CETESB, 2017, Resolução CONAMA 420/2009,

entidades quanto às medidas imediatas a serem adotadas na minimização dos impactos do desastre.

Evento: O rompimento da barragem B-I, localizada no complexo minerário do Córrego do Feijão, em Brumadinho-MG, ocorrido em 25 de janeiro de 2019;

Foco de Contaminação (*Hot spot*): Porção de uma área impactada onde são detectadas as maiores concentrações das substâncias químicas de interesse;

Fonte Difusa: Várias pequenas fontes de contaminação que se espalham por áreas que podem alcançar de alguns m² até dezenas de km².

Fonte potencial de contaminação: Instalação ou material a partir do qual os contaminantes podem ser liberados para o ambiente, mas cuja liberação ainda pode não ser associada a um ou mais compartimentos do meio físico.

Fonte Primária de Contaminação: Instalação, equipamento ou material a partir do qual as substâncias químicas de interesse se originam e estão sendo, ou foram liberadas para um ou mais compartimentos do meio físico.

Fonte Secundária de Contaminação: Meio atingido por substâncias químicas de interesse provenientes da Fonte Primária de Contaminação, capaz de armazenar certa massa dessas substâncias e atuar como fonte de contaminação de outros compartimentos do meio físico.

Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC): Procedimento que visa reduzir, para níveis aceitáveis, os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente em decorrência de exposição às substâncias provenientes de áreas contaminadas, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos riscos e danos decorrentes da contaminação, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.

Limite de Quantificação (LQ): A menor quantidade do analito em uma amostra que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis pelo laboratório/método.

Mapa de controle e monitoramento do risco: Representação espacial das áreas onde os riscos identificados na avaliação de risco ultrapassaram os níveis considerados aceitáveis e/ou os requisitos legais aplicáveis.

Mapa de Intervenção: Plantas e seções com a localização das medidas de intervenção propostas, especificando as áreas e volumes de atuação das medidas de remediação, de controle institucional e de engenharia.

Medidas de controle institucional: Ações implementadas em substituição ou complementarmente às técnicas de remediação, visando a afastar o risco, impedir ou reduzir a

exposição de um determinado receptor sensível aos contaminantes presentes nas áreas ou águas subterrâneas contaminadas, por meio da imposição de restrições de uso, incluindo, entre outras, ao uso do solo, ao uso de água subterrânea, ao uso de água superficial, ao consumo de alimentos e ao uso de edificações, podendo ser provisórias ou não.

Medidas de engenharia: Ações baseadas em práticas de engenharia, com a finalidade de interromper a exposição dos receptores, atuando sobre os caminhos de migração dos contaminantes.

Medidas de intervenção: Conjunto de ações a serem adotadas visando à reabilitação de uma área para o uso declarado, a saber: medidas emergenciais, de remediação, de controle institucional, de controle de engenharia, medidas de monitoramento;

Medidas de remediação: Conjunto de técnicas aplicadas em áreas contaminadas, divididas em técnicas de tratamento, quando destinadas à remoção ou redução da massa de contaminantes, e técnicas de contenção ou isolamento, quando destinadas à prevenir a migração dos contaminantes.

Meta de remediação: Concentração Máxima Aceitável da substância química de interesse que deve ser atingida nos compartimentos do meio físico, por meio da execução de medida de remediação.

Metas de reabilitação ambiental: Conjunto de metas associadas as medidas de controle institucional, medidas de engenharia, medidas de remediação e medidas de monitoramento, que quando aplicadas em conjuntos servirão para indicar o processo de reabilitação ambiental da Área Alvo.

Modelo Conceitual Ambiental (MCA): Relato escrito, acompanhado de representação gráfica, dos processos associados ao transporte das substâncias químicas de interesse na área investigada, desde as fontes potenciais, primárias e secundárias de contaminação, até os potenciais ou efetivos receptores, contendo a identificação das substâncias químicas de interesse, das fontes de contaminação, dos mecanismos de liberação das substâncias, dos meios pelos quais as substâncias serão transportadas, dos receptores e das vias de ingresso das substâncias nos receptores.

Monitoramento ambiental: Medição contínua ou periódica da qualidade ou características de um compartimento do meio físico, matriz ambiental, fauna e flora;

Nexo causal: Avaliação da ocorrência de substâncias químicas de interesse na Área Alvo e a relação de suas concentrações com o rompimento da barragem B-I. Essa avaliação inclui o levantamento dos níveis de concentrações basais na área estudada, comparação com concentrações em localidades de referência (áreas controle) e avaliação da distribuição espacial

das concentrações. O nexo de causa não é utilizado para fins de quantificação do risco a saúde humana ou ecológico.

Nível de base regional (*background*): Concentrações de substâncias químicas de interesse que ocorrem naturalmente no meio ambiente associadas a geoquímica regional.

Padrões Legais Aplicáveis: Conjunto de valores orientadores definidos pela legislação vigente.

Partes Interessadas (*stakeholders*): Pessoas e organizações que possuem interesses e/ou são envolvidas, de forma direta ou indireta, positiva ou negativamente, pelo projeto.

Perigo: situação em que estejam ameaçadas a vida humana, o meio ambiente ou o patrimônio público e privado, em razão da presença de agentes tóxicos, patogênicos, reativos, corrosivos ou inflamáveis.

Padrão Legal Aplicável (PLA): Valor de referência adotado pelo órgão ambiental regulador para definir quais níveis de concentração serão adotados como critérios de corte para ocorrência de anomalias químicas em matrizes ambientais.

Plano de gestão integrada para saúde e meio ambiente: Documento técnico desenvolvido com base nos resultados obtidos nas etapas de investigação e de avaliação de risco, no qual são apresentadas, discutidas e justificadas, a nível conceitual, as metas de reabilitação de áreas contaminadas. O Objetivo final é viabilizar, de forma segura, o uso pretendido para estas áreas e nos casos de ecossistemas à recuperação da qualidade do meio degradado.

PRA: Avaliação de Risco Probabilístico desenvolvida com base na metodologia descrita no “U.S. EPA. Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA 540-R-02-002). PART A, Volume III. Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment”.

Ponto de conformidade (PDC): Pontos de monitoramento situados junto aos receptores potencialmente expostos aos contaminantes, cujas concentrações estão em conformidade com as metas estabelecidas.

Ponto de exposição (PDE): Local onde ocorre a exposição de um dado receptor às substâncias químicas provenientes de uma fonte de contaminação.

Reabilitação ambiental: Processo que tem por objetivo proporcionar o uso seguro de áreas contaminadas por meio da adoção de um conjunto de medidas que levam à eliminação ou redução dos riscos impostos.

Receptor: Indivíduo ou grupo de indivíduos, humanos ou não, expostos, ou que possam estar expostos, a uma ou mais substâncias químicas associadas a uma área contaminada.

Recuperação: Resultado das medidas de intervenção que levam um ecossistema degradado a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original.

Rejeito: Rejeito de minério de ferro associado ao rompimento da Barragem BI da Mina do Córrego do Feijão. Resíduo do tratamento do material extraído na mineração ferro depois da separação do metal de interesse. A Barragem B-I armazenava rejeito desse tipo.

Risco: Compreende o risco à saúde humana e risco ecológico.

Risco adicional: Decorrente da exposição de uma comunidade receptora a uma contaminação, sendo que esta avaliação é feita em cenários associados a uma área contaminada. O risco é dito adicional por se tratar do acréscimo verificado nos fatores de risco já existentes na área em estudo. Podendo-se citar, como exemplo a baixa escolaridade, baixa renda, subemprego, condições precárias de saneamento que podem gerar múltiplas doenças infecciosas, subnutrição, doenças crônicas, entre outras.

Risco . saúde humana: Probabilidade adicional teórica de ocorrência de câncer em um determinado receptor exposto a substâncias carcinogênicas presentes em uma área contaminada ou a possibilidade de ocorrência de outros efeitos adversos na saúde humana decorrentes da exposição às substâncias não carcinogênicas.

Risco carcinogênico: Probabilidade adicional teórica de ocorrência de câncer em função de um evento de exposição associado a uma contaminação ambiental, considerando a SQI e o caminho de exposição avaliado.

Risco ecológico: Possibilidade de ocorrência teórica de efeitos adversos nos organismos presentes nos ecossistemas.

Risco não carcinogênico: Quociente que expressa a potencial ocorrência teórica de efeitos adversos não carcinogênicos à saúde, considerando a SQI e o caminho de exposição.

Rota ou caminho de exposição: Percurso desenvolvido, ou que possa ser desenvolvido, por uma substância química de interesse desde a fonte de contaminação até o receptor.

Sedimentos: Material sólido desagregado, originado da alteração de rochas preexistentes e depositadas na Bacia do rio Paraopeba ou transportados pela água superficial desta bacia. Podem ser encontrados no leito ou na coluna d'água.

Situação anterior: Situação socioambiental e socioeconômica imediatamente anterior a 25 de janeiro de 2019.

Solo subsuperficial: fração de solo situada abaixo de 0,1 metro, incluindo solos aluvionais, coluvionais e tecnogênicos.

Solo superficial: Fração de solo compreendida desde a superfície do terreno até 0,1 metro de profundidade, incluindo solos aluvionais, coluvionais e tecnogênicos.

Solo: Todo material situado abaixo da superfície do terreno, incluindo o solo, conforme definido pedologicamente, e as rochas;

Substância Química de Ocorrência Natural: Substâncias químicas que ocorrem naturalmente no nível de base regional (background), que possuam gênese associada a geoquímica das rochas que formam a geologia da área em estudo.

Substâncias Químicas de Interesse (SQI): Substâncias químicas detectadas no meio, que apresentam níveis acima do padrão legal aplicável ou aquela substância que não possui padrão legal aplicável para um determinado meio.

Unidade de exposição (UE): Áreas que são estabelecidas durante a avaliação de risco e que se caracterizam por possuírem receptores que podem ser ou são expostos a cenários de exposição comuns, considerando os caminhos de exposição e contaminantes presentes.

Valor de investigação (VI): Concentração de determinada substância química encontrada em um compartimento do meio físico ou biótico da qual existem riscos potenciais diretos e indiretos à saúde humana ou a ecossistemas, considerado um cenário de exposição genérico.

Valores Orientadores (VO): Concentrações de substâncias químicas, determinadas por meio de critérios numéricos e dados existentes na literatura científica, que visam subsidiar e definir a necessidade de que sejam executadas ações de prevenção e/ou controle da poluição. Devem nortear o gerenciamento de áreas contaminadas.

Via de Ingresso: Mecanismo pelo qual uma substância química de interesse (SQI) adentra o organismo do receptor.

1 INTRODUÇÃO

Em termos ambientais, um dos grandes desafios da sociedade atual é o gerenciamento de impactos ambientais associados a grandes eventos que promovam alterações a nível regional na saúde e qualidade de vidas das populações, bem como alterações nas condições de equilíbrio da fauna e da flora.

LANDIS e WIEGERS (1997) *apud* LANDIS (2004) definem a avaliação de risco em escala regional como a inclusão de múltiplos habitats, com diferentes agentes de estresse em pontos de exposição, além de diferentes características do meio físico que afetam a quantificação do risco.

ZABEO *et al.* (2011) indicam que para identificação da vulnerabilidade de receptores humanos e ecológicos em escala regional devem ser consideradas a inclusão de diferentes receptores potencialmente impactados, inclusão de uma análise especial no gerenciamento do risco, e a aplicação de metodologias que incluam técnicas de análise de decisões baseadas em multicritérios.

O rompimento da barragem de B-I da Mina Córrego do Feijão, no município de Brumadinho, ocorreu em 25 de janeiro de 2019 e causou a liberação de um grande volume de rejeito de minério de ferro para o sistema fluvial e seu entorno imediato localizado a jusante da barragem e ao longo de cursos d'água da bacia do rio Paraopeba.

Este rompimento acarretou alterações ambientais em escala regional, levando à necessidade do desenvolvimento de *Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana* (ARSH), para avaliação dos potenciais riscos à saúde humana associada ao contato com o rejeito e, caso necessário, definição de estratégias de reabilitação, remediação e monitoramento ambiental.

Diversos fatores caracterizam o evento supramencionado, destacando-se:

- Caráter regional ocasionando alterações ambientais em aproximadamente 320 km na Bacia do Rio Paraopeba;
- Fonte primária única, corresponde à barragem de B-I;
- Fonte primária distante do ponto mais a jusante do ponto de rompimento;
- Fontes secundárias associadas ao processo de deposição da lama de rejeitos ao longo da Bacia do Rio Paraopeba;
- Fontes secundárias dispostas em diferentes localidades e em diferentes matrizes ambientais;
- Fontes difusas de contaminação (antrópicas e de ocorrência naturais) não relacionadas à fonte primária (rompimento da barragem de rejeitos);

- Condições de contorno regionais de difícil fixação/caracterização;
- Múltiplos Cenários de exposição, variando do específico ao diversificado;
- Múltiplas partes interessadas.

O presente documento apresenta o projeto detalhado dos *Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana* (ARSH) no âmbito do Meio Ambiente, a ser executado como descrito na metodologia *Risk Assessment Guidelines for Superfund (RAGS)*, *Human Health Evaluation Manual* (US.EPA, 1989a), o qual será aplicado à Bacia do Rio Paraopeba.

Para o desenvolvimento adequado de estudos de ARSH que possuam contexto regional, é fundamental que sejam estabelecidos os aspectos regionais para definição clara de níveis de base (*background*), bem como investigar aspectos exposicionais associados às populações potencialmente expostas. Deverão ainda ser desenvolvidas as etapas de geração de dados ambientais, seleção e validação de dados que sirvam de base para quantificação do risco e avaliação da exposição considerando características específicas de cada população potencialmente exposta, análise de toxicidade detalhada e orientada ao entendimento do risco adicional de efeitos adversos por *endpoint* no organismo humano, associado a exposição à múltiplos contaminantes.

Os *Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana* (ARSH) quantificarão o risco², considerando aspectos ligados à receptores humanos expostos ao rejeito associados ao rompimento da barragem B-I, definindo ações de gerenciamento ambiental e de comunicação de riscos.

² Conforme definido na Resolução CONAMA 420 (CONAMA, 2009), na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH (COMPAM, 2010), na Decisão de Diretoria 038 (CETESB, 2017), no *Public Health Assessment Guidance Manual* (ATSDR, 2005) e nas diretrizes do Ministério da Saúde (MS, 2010), em estudos de ARSH o risco corresponde à probabilidade da ocorrência adicional de efeitos adversos à saúde em um ser humano exposto a uma ou mais substâncias químicas presentes em uma área contaminada por meio de um, ou mais, cenário(s) de exposição.

2 OBJETIVOS

O objetivo de presente projeto é apresentar o detalhamento técnico a ser aplicado para o desenvolvimento dos *Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana* a serem executados na região da Bacia do Rio Paraopeba, que foi impactada pelo rompimento da barragem B-I, considerando a metodologia *Risk Assessment Guidelines for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual* (US.EPA, 1989a).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente documento foi desenvolvido com base nos seguintes protocolos e procedimentos técnicos:

- [1] US.EPA - *Environmental Protection Agency*. 1989. *Risk Assessment Guidelines for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA/540/1-89/002)*. PART A, Volume I. Última atualização em Dezembro de 1989 (<https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>);
- [2] US.EPA - *Environmental Protection Agency*. 2011. *Exposure Factors Handbook*, Volumes I, II e III. *National Center for Environmental Assessment (EPA/600/R-09/052F)*. Última atualização em Setembro de 2011 (<https://www.epa.gov/expobox/about-exposure-factors-handbook>).

Para suporte ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Metais

- [1] RESOLUÇÃO CONAMA nº 420/2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas;
- [2] COPAM/CERH. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, de 6 de setembro de 2010, que estabelece diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas;
- [3] US.EPA - *Environmental Protection Agency* (2007). *Framework for Metals Risk Assessment*. Washington, DC, EPA 120/R-07/001. Março de 2007;
- [4] US.EPA - *Environmental Protection Agency* (2014). *Framework for Human Health Risk Assessment to Inform Decision Making*;
- [5] COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Decisão de Diretoria nº 038/2017/C*. São Paulo, 2017.

Os Estudos de Avaliação de Risco utilizam os princípios apresentados pelo *Framework for Metals Risk Assessment* (USEPA, 2007), os quais tem como base as propriedades fundamentais dos metais no meio ambiente, as quais devem ser abordados e incorporados em todas as avaliações de risco de metais, a saber:

- [1] Os metais são constituintes que ocorrem naturalmente no meio ambiente e suas concentrações variam regionalmente;
- [2] Todos os compartimentos do meio físico possuem ocorrências naturais de metais, sendo estes frequentemente introduzidos no ambiente como misturas;
- [3] Alguns metais são essenciais para manter a saúde adequada de seres humanos, animais, plantas e microrganismos;
- [4] Os metais, diferentemente dos produtos químicos orgânicos, não são criados nem destruídos por processos biológicos ou químicos; embora, esses processos possam transformar metais de uma espécie para outra (estados de valência) e convertê-los entre formas inorgânicas e orgânicas;
- [5] A absorção, distribuição, transformação e excreção de um metal dentro de um organismo depende do metal, da forma de ocorrência do metal ou do composto metálico, e da capacidade do organismo de regular e armazenar o metal.

Conforme discutido em *Framework for Metals Risk Assessment* (USEPA, 2007), é importante apresentar os princípios que diferenciam os compostos metálicos inorgânicos de outros produtos químicos. Esses princípios básicos merecem consideração cuidadosa ao avaliar os riscos para a saúde humana e o meio ambiente associados à exposição aos metais ou compostos metálicos e serão abordados e incorporados nos *Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana* a serem executados para a Bacia do Paraopeba, no âmbito do Meio Ambiente. Os principais princípios básicos a serem adotados são listados a seguir.

- [1] Os metais são constituintes naturais do meio físico e variam em concentração e distribuição no ambiente em superfície e subsuperfície, sendo que:
 - Humanos, outros animais e plantas evoluíram na presença de metais e são adaptados a vários níveis de metais. Muitos animais e plantas exibem distribuições geográficas que refletem requisitos variáveis e tolerância a certos metais. Essas diferenças regionais em requisitos e tolerâncias devem ser lembradas ao realizar testes de toxicidade, avaliar riscos e extrapolar entre regiões que diferem naturalmente nos níveis de metais.
 - Como resultado da atividade humana, os níveis atuais de metais podem ser elevados em relação aos níveis que ocorrem naturalmente. Dependendo do objetivo da avaliação de riscos, deve-se tomar cuidado para entender e distinguir entre os níveis naturais, os níveis atuais de base (isto é, fontes naturais e antropogênicas) e as contribuições para os níveis atuais de atividades específicas.

- [2] Seres humanos e outros animais se alimentam de diversas formas e com alimentos de diversas origens. Sendo assim, pode haver grande variabilidade na ingestão de alguns metais (por exemplo, em foliáceas, tubérculos, frutas, carnes ou frutos do mar), resultando em variabilidade temporal (por exemplo, picos de metais no organismo após uma determinada refeição ou associada ao estágio de vida humana) e geográfica (por exemplo, regiões ricas naturalmente em um determinado metal podem gerar alimentos com concentrações maximizadas daquele metal). Adicionalmente, podem ocorrer variabilidades associadas ao perfil cultural de uma determinada população.
- [3] Em todos os compartimentos do meio físico ou compartimentos ambientais, ocorre misturas ou associações naturais de metais, sendo que:
- Alguns metais agem de maneira aditiva quando estão associados a outros metais; outros agem independentemente de outro metal; e outros ainda são antagônicos ou sinérgicos. Tais interações são aspectos importantes da avaliação da exposição e dos efeitos.
 - Interações entre metais dentro de organismos podem ocorrer quando competem por locais de ligação em enzimas ou receptores específicos durante os processos de absorção, excreção ou sequestro ou diretamente no *endpoint* (órgãos e sistemas).
 - A presença e a quantidade de outros metais são importantes ao realizar e interpretar testes de laboratório.
- [4] Alguns metais são essenciais para manter a saúde adequada de seres humanos, animais, plantas e microrganismos, sendo que:
- Efeitos nutricionais adversos podem ocorrer se metais essenciais não estiverem disponíveis em quantidades suficientes. Os déficits nutricionais podem ser inerentemente adversos e podem aumentar a vulnerabilidade de seres humanos e outros organismos a outros estressores, incluindo aqueles associados a outros metais.
 - Quantidades excessivas de metais essenciais podem resultar em efeitos adversos se sobrecarregarem os mecanismos hemostáticos de um organismo.
 - Assim, a essencialidade deve ser vista como parte da relação dose-resposta geral para os metais que se mostram essenciais, e a forma dessa relação pode variar entre os organismos. Para uma determinada população, as "doses de referência" projetadas para proteger da toxicidade do excesso não devem ser definidas abaixo das doses identificadas como essenciais. As doses essenciais são tipicamente específicas da fase da vida e do sexo.
- [5] A química ambiental dos metais influencia fortemente seu transporte e atenuação, bem como nos efeitos nos receptores humanos e ecológicos. Ao contrário dos produtos químicos

orgânicos, os metais não são criados nem destruídos por processos biológicos ou químicos. No entanto, esses processos podem transformar metais de uma espécie para outra (estados de valência) e convertê-los entre formas inorgânicas e orgânicas. Os metais também estão presentes em vários tamanhos, de pequenas partículas a grandes massas, sendo que:

- A forma do metal (espécie química, composto, matriz e tamanho de partícula) influencia a bioacessibilidade, biodisponibilidade, destino e efeitos do metal.
- A forma do metal é influenciada por propriedades ambientais, como pH, tamanho de partícula, umidade, potencial redox, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e sulfetos voláteis ácidos.
- Certas formas de metais são usadas para avaliar a exposição e os efeitos. Por exemplo, o íon metálico livre é usado para avaliações de exposição com base na ligação competitiva do metal a locais específicos de ação no organismo.
- Os metais ligados a pequenas partículas transportadas pelo ar são de importância primordial para exposições por inalação, embora alguns metais e compostos metálicos possam existir como vapores (por exemplo, mercúrio).
- As informações desenvolvidas sobre o transporte e atenuação, bem como os efeitos de uma forma de um metal, podem não ser diretamente aplicáveis a outras formas.
- As formas organometálicas têm características diferentes dos metais inorgânicos e compostos metálicos, e os mesmos princípios e abordagens gerais para avaliação de riscos não se aplicam.

[6] A toxicocinética e a toxicodinâmica dos metais dependem do metal, da forma do metal ou do composto de metal e da capacidade do organismo de regular e/ou armazenar o metal. Esses processos geralmente são altamente dinâmicos (por exemplo, variam de acordo com a rota e a concentração de exposição, metal e organismo) e, portanto, exercem uma influência direta na expressão da toxicidade do metal, sendo que:

- Sabe-se que certos compostos metálicos se bioacumulam nos tecidos e essa bioacumulação pode estar relacionada à sua toxicidade.
- Atualmente, os dados científicos mais recentes sobre bioacumulação não suportam o uso dos valores de fator de bioconcentração (BCF) e fator de bioacumulação (BAF), quando aplicados como critérios genéricos de limiar para o potencial de risco de metais inorgânicos nas avaliações de riscos humanos e ecológicos (por exemplo, para classificação como um produto químico tóxico bioacumulável [PBT] persistente).

- Os BAF / BCFs de valor único mantêm o maior valor para avaliações específicas do local quando a extrapolação em diferentes condições de exposição é minimizada.
- Para avaliações regionais, os BAF / BCFs devem ser expressos em função da química dos meios e da concentração de metais para espécies específicas (ou organismos intimamente relacionados).
- A transferência trófica pode ser uma importante via de exposição para metais, embora a biomagnificação de formas inorgânicas de metais nas redes alimentares geralmente não seja uma preocupação nas avaliações de metais.
- Modelos de bioacumulação baseados em cinética (por exemplo, DYNBAM) foram montados para descrever com precisão a bioacumulação resultante de diferentes rotas de exposição para vários metais e organismos aquáticos e devem ser considerados como alternativas à abordagem BCF / BAF quando houver dados adequados disponíveis.
- Muitos organismos desenvolveram meios fisiológicos ou anatômicos para regular e/ou armazenar certos metais até certos níveis de exposição, de modo que os metais não estejam presentes nos organismos em uma concentração, forma ou local que possa resultar em um efeito tóxico.
- O órgão ou tecido em que ocorre o efeito tóxico do metal pode diferir do órgão ou tecido em que o metal se bioacumula e pode ser afetado pela cinética do metal. Os órgãos-alvo podem diferir por espécie, principalmente devido a diferenças na absorção, distribuição e excreção. Os efeitos no portal de entrada em um organismo são menos dependentes de processos cinéticos internos a um organismo.
- Tanto a rota de exposição quanto a forma de um metal podem afetar o potencial carcinogênico do metal (avaliado no contexto da avaliação de riscos à saúde humana) e seus efeitos não cancerígenos.
- A sensibilidade aos metais varia com a idade, sexo, estado da gravidez, estado nutricional e genética (devido a polimorfismos genéticos).

4 ABRANGÊNCIA DO PROJETO

A definição da abrangência do escopo é fundamental para o desenvolvimento dos estudos de ARSH para meio ambiente, haja vista a amplitude conceitual e metodológica, e a extensão territorial de influência do rompimento da barragem B-I da Mina Córrego do Feijão.

O escopo territorial dos *Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana* para meio ambiente abrange toda a extensão da bacia do rio Paraopeba em Minas Gerais que foi impactada pelo rompimento da barragem B-I, desde o município de Brumadinho até a represa de Três Marias, no município de mesmo nome.

O escopo dos *Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana* para meio ambiente abrange a aplicação integral da metodologia *Risk Assessment Guidelines for Superfund (RAGS)*, *Human Health Evaluation Manual* (US.EPA, 1989a), e outras metodologias adicionais que orientam as técnicas de amostragem, controle e garantia da qualidade na amostragem e análises químicas, padrões legais aplicáveis (PLA).

5 PREMISSAS TÉCNICAS

A seguir serão apresentadas as premissas técnicas que fornecerão a base necessária para execução adequada dos *Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana* no âmbito do meio ambiente.

5.1 RISCO CARCINOGENICO E RISCO NÃO CARCINOGENICO

Conforme definido na Resolução CONAMA nº 420 (CONAMA, 2009), na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH (COMPAM, 2010), na Decisão de Diretoria 038 (CETESB, 2017) e no *RAGS Human Health* (US.EPA, 1989a), o risco corresponde à probabilidade da ocorrência adicional de efeitos adversos à saúde em um ser humano exposto a uma ou mais substâncias químicas presentes em uma área contaminada por meio de um, ou mais, cenário(s) de exposição.

No contexto da avaliação de risco à saúde humana, quando a substância química possui efeitos carcinogênicos o risco é quantificado pela probabilidade de ocorrência de risco adicional.

Quando a substância química possui efeitos não carcinogênicos, o risco é qualificado pelo quociente entre a Dose de Exposição Teórica e um parâmetro que descreve sua toxicidade (Doses de Referência – RfD ou Nível de Risco Mínimo – MRL).

5.2 RISCO ADICIONAL

Conforme descrito pelo Ministério da Saúde (MS, 2010), “deve-se considerar que populações estão expostas a um ou mais contaminantes, por várias vias, durante anos ou décadas. Os efeitos tóxicos, portanto, podem aparecer com maior frequência nessas populações do que no resto dos indivíduos, configurando um risco adicional de adoecimento (...)”. Ainda segundo o Ministério da Saúde (MS, 2010) “(...) em muitos casos a população exposta tem baixa escolaridade, baixa renda, subemprego, condições precárias de saneamento, é acometida por múltiplas doenças infecciosas, subnutrição, doenças crônicas, entre outras. Nessas populações, a exposição a alguma substância química, ou múltiplas substâncias, se configura como um fator de risco adicional, agravando sua vulnerabilidade. Além disso, a resposta biológica nem sempre corresponde às descrições existentes na literatura.”

Considerando o *RAGS Human Health* (US.EPA, 1989a) e *Public Health Assessment Guidance Manual* (ATSDR, 2005) destaca-se que os projetos de Avaliação de Risco a Saúde Humana têm como premissa fundamental calcular o risco adicional decorrente da exposição de uma comunidade receptora a uma contaminação. Essa avaliação é feita em cenários associados a

uma área contaminada. Neste caso, o risco é dito adicional por se tratar do acréscimo verificado nos fatores de risco já existentes na área em estudo. Podendo-se citar, como exemplo a baixa escolaridade, baixa renda, subemprego, condições precárias de saneamento que podem gerar múltiplas doenças infecciosas, subnutrição, doenças crônicas, entre outras.

5.3 RISCO CUMULATIVO

Além do risco individual, também é calculado o risco teórico cumulativo, ou simplesmente risco cumulativo, considerando a soma dos riscos por cenário de exposição e por compartimento do meio físico. No que diz respeito à efeitos não carcinogênicos, o risco cumulativo também leva em consideração os mecanismos de ação/*endpoints* (sistema nervoso, sistema sanguíneo, sistema gastrointestinal, órgãos específicos, entre outros) das substâncias químicas avaliadas.

Após a quantificação do risco individual para cada SQI avaliada, serão realizadas as seguintes etapas:

- Somatória de todos os riscos carcinogênicos de cada SQI por cenário de exposição válido;
- Somatória de todos os riscos carcinogênicos de cada cenário de exposição válido por compartimento de interesse do meio-físico;
- Somatória de todos os riscos não carcinogênicos de cada SQI por cenário de exposição válido, considerando a similaridade de efeitos adversos e mesmos órgãos afetados, conforme definido no perfil de toxicidade da SQI;
- Somatória de todos os riscos não carcinogênicos de cada cenário de exposição válido por compartimento de interesse do meio físico, considerando a similaridade de efeitos adversos e mesmos órgãos afetados, conforme definido no perfil de toxicidade da SQI.

Após a conclusão da somatória dos riscos individuais por compartimento do meio físico e por efeitos adversos similares, será calculado o Risco Total Teórico para a área em estudo.

5.4 ACREDITAÇÃO LABORATORIAL

Só serão aceitos para fins de Avaliação de Risco resultados analíticos laboratoriais de todas as amostras de matrizes executadas por laboratórios acreditados pela norma ABNT NBR ISO 17.025:2017.

A aquisição de amostras deverá ser realizada somente por empresas e laboratórios acreditados para esta finalidade pela norma ABNT NBR ISO 17.025:2017. Caso não haja empresas acreditadas no Brasil para uma matriz específica, esta poderá ser amostrada por

empresa não acreditada desde que seja seguida a metodologia de amostragem descrita neste documento.

5.5 PADRÕES LEGAIS APLICÁVEIS

A seguir são apresentados os padrões legais a serem utilizados para cada matriz ambiental.

5.5.1 Solo Superficial

Como valor de corte para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQI) deverá, na ausência de lista específica para o Estado no qual se encontra a Área Alvo, ser utilizado o Valor de Investigação (VI) previsto no CONAMA 420, adequado ao uso do solo, definido nos modelos conceituais. Para substâncias químicas de interesse ou meios não contemplados no CONAMA 420, a última atualização dos *Regional Screening Levels* (RSLs), desenvolvidos pela *United States Environmental Protection Agency* (US.EPA), deverá ser utilizada. Tendo em vista que os VIs da CONAMA 420 e os valores de RSL da US EPA dependem do tipo de uso do solo na área em estudo (ex.: solo agrícola, solo residencial, solo industrial), o VI ou RSL selecionado para comparação deve ser adequadamente identificado, indicando o tipo de uso do solo adotado e justificativa.

5.5.2 Solo Subsuperficial

Como valor de corte para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQI) deverá, na ausência de lista específica para o Estado no qual se encontra a Área Alvo, ser utilizado o Valor de Investigação (VI) previsto no CONAMA 420, adequado ao uso do solo definido nos modelos conceituais de cada Área Alvo. Para substâncias químicas de interesse ou meios não contemplados no CONAMA 420, a última atualização dos *Regional Screening Levels* (RSLs), desenvolvidos pela *United States Environmental Protection Agency* (US.EPA), deverá ser utilizada. Tendo em vista que os VI da CONAMA 420 e os valores de RSL da US EPA dependem do tipo de uso do solo na área em estudo (ex.: solo agrícola, solo residencial, solo industrial), o VI ou RSL selecionado para comparação deve ser adequadamente identificado, indicando o tipo de uso do solo adotado e justificativa.

5.5.3 Sedimento Superficial e Subsuperficial

Como valor de corte para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQI) deverá ser utilizada a Resolução CONAMA nº 454, de 1º de novembro de 2012, a qual estabelece as

diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Para substâncias químicas de interesse ou meios não contemplados na CONAMA 454, a última atualização do *Region 4 Ecological Risk Assessment Supplemental Guidance* (US.EPA, 2018) será utilizada.

5.5.4 Água Subterrânea

Como valor de corte para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQI) deverá ser utilizada a Resolução CONAMA nº 396, de 2008, e CONAMA nº 420, de 2009, conforme o uso da água subterrânea definido nos modelos conceituais de cada Área Alvo. Caso a água subterrânea seja utilizada para consumo humano (ex.: proveniente de nascentes, poços cacimba) serão utilizados os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05 do Ministério da Saúde e suas atualizações.

5.5.5 Água de Abastecimento

Como valor de corte para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQI) para ARSH serão utilizados os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05 do Ministério da Saúde e suas atualizações.

5.5.6 Água Superficial

Como valor de corte para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQI) deverão ser utilizados os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e suas atualizações.

5.5.7 Poeira Domiciliar

Como valor de corte para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQI) para ARSH deverá, na ausência de lista específica para o Estado no qual se encontra a área em estudo, ser utilizado o Valor de Investigação (VI) previsto na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, no CONAMA 420, no CONAMA 420, adequado ao uso do solo definido nos modelos conceituais de cada área alvo. Para substâncias químicas de interesse ou meios não contemplados no CONAMA 420, a última atualização dos *Regional Screening Levels* (RSLs), desenvolvidos pela *United States Environmental Protection Agency* (US.EPA) será utilizada. Tendo em vista que os VIs da CONAMA 420 e os valores de RSL da US EPA dependem do tipo de uso do solo na área em estudo (ex.: solo agrícola, solo residencial, solo

industrial), o VI ou RSL selecionado para comparação deve ser adequadamente identificado, indicando o tipo de uso do solo adotado e justificativa.

A poeira domiciliar considerada neste projeto segue a definição apresentada no *Exposure Factor Handbook* (US.EPA, 2017), sendo as partículas encontradas no interior de edificações que foram assentadas em objetos, superfícies, carpetes e no chão, incluindo partículas de solo trazidas nos sapatos e roupas de pessoas que vieram das áreas externas ou que foram transportadas pelo vento para o interior das casas. Desta forma, é intuitivo considerar que parte considerável da poeira domiciliar tenha origem do solo superficial ao redor da residência, porém, isto não exclui a possibilidade de outras fontes internas e mesmo externas participarem na formação da poeira domiciliar.

BO *et al.* (2017) lista como possíveis fontes de material particulado dentro das residências as atividades de fumar, cozinhar, sistemas de aquecimento, entre outras. Já fontes externas, além da dinâmica externa agindo sobre o solo superficial, seriam a queima de combustíveis ou matéria orgânica e processos industriais. Estas diferentes fontes de poeira podem explicar possíveis diferenças encontradas entre as análises químicas realizadas no solo externo à residência e as análises de poeira domiciliar.

5.5.8 Alimentos de Origem Animal e Vegetal

Como valor de corte para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQI) deverá, na ausência de lista específica para o Estado no qual se encontra a área alvo, ser utilizado a RDC nº 42/2013 da Anvisa. Para substâncias químicas de interesse ou meios não contemplados na RDC nº 42/2013, serão utilizados os valores definidos pelo Codex Alimentarius.

5.6 EQUIPES TÉCNICAS

Abaixo é apresentada a estrutura de equipe proposta para a execução dos Estudos de Avaliação de Risco para Meio Ambiente:

- Especialista em Avaliação de Risco à Saúde Humana;
- Geólogo;
- Engenheiro Ambiental ou Gestor Ambiental;
- Médico, Farmacêutico, Biomédico Especialista em Toxicologia Humana;
- Estatístico.

A execução dos estudos de ARSH será acompanhada por profissionais de meio ambiente ligados às Secretarias Estaduais e Municipais de meio ambiente. Estes profissionais

estarão presentes nas etapas de coleta de dados primários em campo. A solicitação para este acompanhamento será formalmente realizada pela pelo Comitê Gestor Pró-Brumadinho (<https://www.mg.gov.br/conteudo/pro-brumadinho>), a partir de convite escrito com previsão de data de início e término do referido acompanhamento, sendo que ficará a cargo das Secretarias Estaduais e Municipais de Meio Ambiente indicarem os profissionais que farão esse acompanhamento.

6 EXCLUSÕES E LIMITAÇÕES

Esta seção apresenta os itens considerados ou não nos Estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana a serem desenvolvidos para a Bacia do Rio Paraopeba.

Itens fora do escopo:

- [1] Os estudos de ARSH no âmbito do meio ambiente não consideram a caracterização do nexo de causa associado a valores resultantes da avaliação de risco à saúde humana (nexo de causa entre exposição e doença) para a metodologia RAGS *Human Health* (US.EPA, 1989a). Também não serão avaliados os nexos causais relacionados ao risco ecológico calculado causados teoricamente por uma exposição de um receptor ambiental (fauna ou flora) à uma substância química de interesse.
- [2] Os estudos de ARSH no âmbito do meio ambiente não contemplam a elaboração de estudos epidemiológicos, estudos toxicológicos ou segmentação populacional para fins de saúde pública.

Itens do escopo:

- [1] Os Estudos de ARSH no âmbito do meio ambiente consideram a avaliação da ocorrência de substâncias químicas de interesse na área estudada e sua relação (nexo de causalidade) com o rompimento da barragem B-I. Essa avaliação inclui o levantamento dos níveis de concentrações basais na área estudada, comparação com concentrações em localidades de referência e avaliação da distribuição espacial das concentrações;
- [2] Os estudos de ARSH no âmbito do meio ambiente consideram o conceito de Risco Adicional com base no procedimento RAGS *Human Health* desenvolvido pela US.EPA (US.EPA, 1989a).

7 Fontes Primárias Potenciais Ligadas ao Rompimento

O “Plano Integrado de Gerenciamento de Rejeitos e Resíduos Carreados pelo Rompimento da Barragem B-I” tem o objetivo de estabelecer os procedimentos e critérios técnicos a serem adotados no manejo dos rejeitos e gestão dos resíduos e rejeitos provenientes das escavações na “zona quente”, localizada na bacia do Ribeirão Ferro-Carvão.

No documento citado acima a gestão de resíduos e rejeitos seguem as seguintes premissas:

- Deve atender aos requisitos legais aplicáveis, consonante com a Política Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos, principalmente no que se refere às condições de destinação final;
- Os rejeitos advindos da ruptura foram caracterizados e classificados como não perigosos, conforme Capítulo 4 do documento citado;
- Os resíduos com potencial de contaminação devem ser segregados na fonte geradora, ou seja, na “zona quente”, antes do envio para seus respectivos depósitos intermediários de resíduos (DIR’s).

Sendo que os principais resíduos encontrados na área de escavação “zona quente” são:

1. Resíduos diversos, como madeira, dormentes;
2. Rejeito contaminado com óleos, graxas e/ou combustíveis;
3. Resíduos da construção civil;
4. Tambores, bombonas e tanques;
5. Veículos leves, sendo estas caminhonetes, veículos pequenos, ônibus, vans, ambulâncias;
6. Veículos pesados, como caminhões, carretas, foras de estrada, guindastes
7. Máquinas (trator, retroescavadeira, motoniveladora etc.);
8. Equipamentos, como locomotivas, transformadores, cilindros, GPL, caçamba, perfuratrizes, plataformas elevatórias, cilindros hidráulicos, containers, inversores e máquinas de solda, painéis elétricos, bombas hidráulicas, baterias, empilhadeiras de cargas, pneus inservíveis, entre outros.

A localização destes resíduos, não relacionados ao rejeito de minério de ferro que estava presente na barragem B-I da Mina Córrego do Feijão antes de seu rompimento são classificados como “Fontes Primárias Potenciais Ligadas ao Rompimento”. Sendo assim, serão mapeadas a partir dos dados secundário gerados no Plano Integrado de Gerenciamento de Rejeitos e Resíduos Carreados pelo Rompimento da Barragem B-I, e serão integradas ao Modelo Conceitual para Meio Ambiente (MCA_{MA}).

Uma vez executado o descrito no item 6.6 (Gestão e Manejo dos Resíduos com Potencial de Contaminação) do Plano Integrado de Gerenciamento de Rejeitos e Resíduos, os dados gerados serão incorporados aos estudos de ARSH e será desenvolvido um *Plano de Investigação para Meio Ambiente* específico para estas regiões.

As “fontes primárias potenciais ligadas ao rompimento” serão identificadas, qualificadas e listadas no modelo conceituais MCA_{MA}. Neste caso, estas fontes também serão investigadas a partir do plano de amostragem definido no *Plano de Investigação para Meio Ambiente*. Sendo assim, não haverá necessidade de desenvolvimento de um *Plano de Investigação para Meio Ambiente* específico para estas fontes primárias.

Em alguns casos, em função do avanço da escavação, remoção e destinação dos rejeitos oriundos do rompimento da barragem B-I, estas fontes primárias ainda não foram identificadas, qualificadas e removidas, já que muitas delas estão soterradas e o processo de escavação irá expô-las para posterior investigação. Neste caso, se o projeto estiver adiantado no momento da descoberta destas fontes primárias, será desenvolvido um *Plano de Investigação para Meio Ambiente* específico para estas fontes primárias. Os resultados da execução deste plano serão consolidados e inseridos no estudo de ARSH.

Neste contexto as “Fontes Primárias Potenciais Ligadas ao Rompimento” identificadas e avaliadas pelo Plano Integrado de Gerenciamento de Rejeitos e Resíduos, passarão a fazer parte dos Estudos de Avaliação de Risco.

8 ÁREAS ALVO (AA_{MA})

As alterações ambientais causadas pelo rompimento da barragem B-I têm escala regional, atingindo cerca de 320 km de cursos d'água, em Minas Gerais. Adicionalmente, as características naturais do ambiente mudam significativamente ao longo da região de impacto.

Sendo assim, é necessária uma segmentação física preliminar com base em dados referentes à geologia, topografia, pedologia, hidrografia, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo, dados populacionais e dos ecossistemas que possuem características distintas ao longo da bacia do rio Paraopeba. Considerando estas diferenças, torna-se necessária a segmentação da área de estudo em unidades com características físicas, populacionais, de ecossistemas e de alterações ambientais semelhantes, definidas preliminarmente.

As Áreas Alvo de Meio Ambiente (AA_{MA}) são representações espaciais delimitadas por bacias de contribuição hídrica que possuam características similares quanto aos atributos físicos, e do uso e ocupação dada ao solo, populações potencialmente expostas.

A determinação preliminar das AA_{MA} se dará considerando as seguintes camadas de informação:

1. Limites das macro regiões de interesse;
2. Limites das micro regiões de interesse;
3. Dados sobre uso e ocupação do solo, das características populacionais;
4. Sobreposição dos impactos ambientais.

A definição de macro regiões de interesse será realizada a partir da análise de dados regionais relacionados à Bacia do Rio Paraopeba. Nesta etapa serão identificados os limites espaciais das macrobacias de contribuição da Bacia do Rio Paraopeba. Para tanto serão avaliados os seguintes aspectos quando disponíveis: morfologia, geologia, pedologia, hidrogeologia, hidrologia e vegetação.

O produto desta etapa será o mapeamento, em escala regional, das macro regiões de interesse definidas em função dos aspectos anteriormente citados. Seu perímetro externo será definido pelo divisor hidrográfico de uma ou mais macrobacias.

A definição de micro regiões de interesse será realizada a partir da interpretação de aerofotos em escala de 1:10.000, quando disponíveis, imagens de satélite, lidar (*light detection and ranging*), aerolevantamentos por drones, mapas planimétricos, mapas planialtimétricos e demais levantamentos de detalhe (desde que validados) serão utilizados.

Nesta etapa serão identificadas as micro regiões de interesse (em escala local) dentro de cada macro região de interesse, definida na etapa anterior. Para tanto, serão considerados os mesmos aspectos do meio físico levantados na etapa anterior, desde que a escala seja ajustada para esta etapa, adicionando os seguintes conjuntos de dados: geoquímica, pedologia, hidroquímica e hidrogeoquímica, desde que disponíveis e que estes justifiquem a divisão de áreas com características distintas.

O produto desta etapa deverá ser o mapeamento em escala local das micro regiões de interesse definidas em função da maior quantidade de aspectos citados no parágrafo anterior. Seu perímetro externo será definido pelo divisor hidrográfico da microbacia e o divisor interno pelo contato entre duas, ou mais, micro unidades.

A sobreposição dos mapas de uso e ocupação do solo, de informações quanto as características populacionais será realizada para cada micro região de interesse identificada na etapa anterior. Sendo assim, deverão ser distribuídas espacialmente em mapas específicos, as seguintes características de uso e ocupação do solo:

- Tipo de uso (residencial rural, residencial urbano, industrial, comercial, agrícola, área de preservação permanente, recreação, entre outros identificados);
- Tipo de uso (residencial rural, residencial urbano, industrial, comercial, agrícola, área de preservação permanente, recreação, entre outros identificados);
- Densidade da ocupação e populacional;
- Características físicas;
- Dinâmica de uso;
- Características do uso agrícola, quando pertinente;
- Características do uso agropecuário, quando pertinente;
- Comunidades especiais (povos indígenas, comunidades quilombolas, entre outros);
- Receptores sensíveis (rios, córregos, pontos de abastecimento público, hospitais, escolas, creches, entre outros).

O produto desta etapa será a distribuição em escala local do uso e ocupação do solo aplicado as micro regiões de interesse.

A sobreposição dos impactos ambientais causado pelo rompimento da barragem de B-I será realizada para cada micro região de interesse associada ao uso e ocupação do solo, conforme etapa anterior. Sendo assim, deverão ser distribuídas espacialmente em mapa as seguintes informações:

- Regiões intracalha e extracalha diretamente afetadas pela passagem do rejeito proveniente do rompimento;
- Mapeamento de bancos de deposição de rejeitos intracalha;
- Manchas de inundação;
- Resultados dos programas de monitoramento atualmente desenvolvidos para acompanhar os impactos associados ao rompimento;
- Resultados do monitoramento de qualidade de águas superficiais realizados pelo IGAM na bacia do rio Paraopeba;
- Resultados e interpretações de estudos acadêmicos e projetos técnicos de caracterização ambiental desenvolvidos para Bacia do Rio Paraopeba antes e após o rompimento.

Após esta última etapa de sobreposição, serão identificados os compartimentos do meio físico e compartimentos ambientais a serem avaliados, bem como o perímetro de ocorrência destas alterações.

O produto desta etapa deverá ser a distribuição em escala local dos usos e ocupação e dos impactos ambientais causados pelo rompimento da barragem de B-I nas micro regiões de interesse previamente mapeadas.

Uma vez definidas as micro regiões de interesse, a partir de informações regionais do meio físico, estando esta base associada às características de uso e ocupação do solo, características locais das populações e das alterações ambientais causadas pelo rompimento, serão definidos os perímetros individuais de cada Área Alvo de Meio Ambiente (AA_{MA}).

Serão segmentadas preliminarmente todas as Áreas Alvo de Meio Ambiente (AA_{MA}) visando o estabelecimento de uma região preliminar de estudo. A definição de preliminar de AA_{MA} deverá estar alinhada com critérios para definição de regiões de estudo conforme metodologia *RAGS Human Health* (US.EPA, 1989a).

9 AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE DADOS AMBIENTAIS

A *Avaliação e Validação de Dados Ambientais* será executada ao final da etapa de *Compilação e Análise de Dados* e ao final da execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*. Sendo assim, neste item, serão descritas as metodologias para avaliar e validar os dados secundários obtidos na etapa de *Compilação e Análise de Dados* e os dados primários obtidos pela execução do *Plano de Investigação Detalhada para Meio Ambiente*.

A **primeira tarefa** da *Avaliação e Validação de Dados Ambientais* consiste na validação dos dados secundários disponíveis para os compartimentos ambientais, fauna e flora, considerando as rotas de exposição definidos como válidas no MCA_{MA}, tarefa esta que será executada após a etapa de *Compilação e Análise de Dados* (ver seção 10.1.1.4 – *Validação de Dados Secundários*). As seguintes fontes de dados ambientais serão utilizadas:

- Programas de Monitoramento e estudos de caracterização ambiental executados para acompanhamento da qualidade ambiental da região atingida;
- Dados de monitoramento de órgãos regulatórios (ex.: IGAM, FEAM, IEMA);
- Dados coletados por especialistas do Ministério Público relacionados ao rompimento da barragem B-I;
- Trabalhos acadêmicos (ex.: Universidades, Órgãos de Pesquisa);
- Outros relatórios técnicos e estudos publicados.

Para matrizes ambientais que possuem variação temporal e sazonal, como água superficial, água bruta utilizada para consumo humano e sedimentos, deverão ser priorizados dados coletados no âmbito de programas de monitoramento como: o Plano de Monitoramento da Qualidade da água do Rio Paraopeba; monitoramento de águas superficiais do Estado de Minas Gerais executado pelo IGAM; Programa de Monitoramento da Biodiversidade atualmente desenvolvido para a bacia do Paraopeba. Quando disponíveis, serão consolidados dados de amostras coletadas nas três regiões de exposição definidas para a Área Alvo em estudo: RED, REI e RNE.

Entende-se que a amostragem na RED permitirá identificar qualquer substância que esteja acima do padrão legal aplicável (PLA) e que possa ter relação com o rompimento da barragem B-I, incluindo o grupo de substâncias que podem ter sido remobilizadas pelo evento.

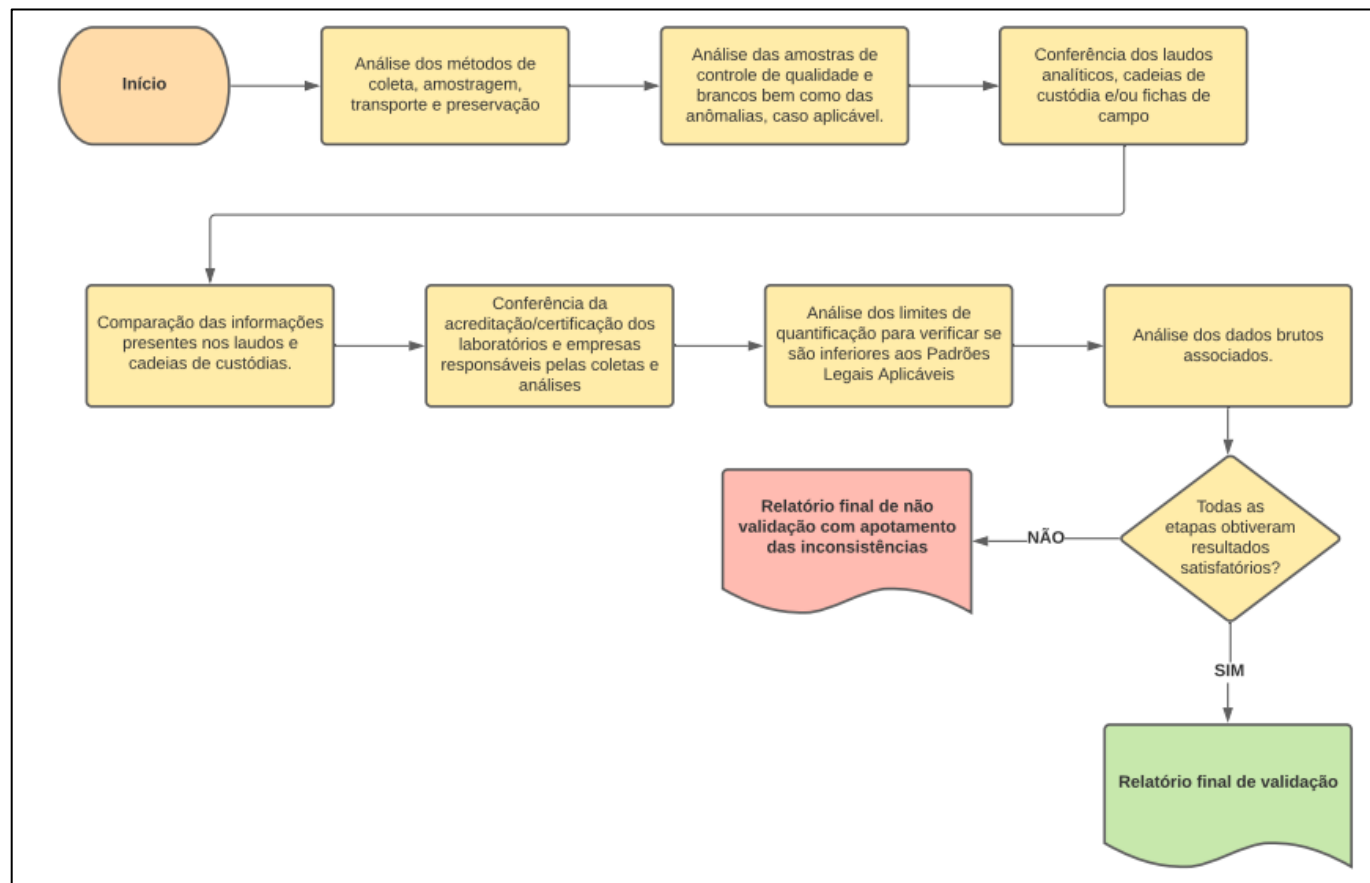
A **segunda tarefa** da *Avaliação e Validação de Dados Ambientais* consiste na validação dos dados gerados pela execução do *Plano de Investigação Detalhada para Meio Ambiente*.

A *Avaliação e Validação de Dados Ambientais* (secundários e primários) serão divididas nas seguintes etapas:

- Dados analíticos;
- Dados do Meio Físico;
- Avaliação de suficiência e representatividade.

Na **Figura 1** estão representadas as etapas resumidas da metodologia de avaliação.

Figura 1 – Fluxograma da Metodologia



É importante ressaltar que a *Avaliação e Validação de Dados Ambientais* serão executadas em dois momentos dos estudos de ARSH, com base no RAGS *Human Health* (US.EPA, 1989a):

- Ao final da etapa de *Compilação e Análise de Dados*, e
- Ao final da execução do *Plano de Investigação Detalhada para Meio Ambiente*.

9.1 Dados Analíticos

Para cada conjunto de dados secundários obtidos na etapa de *Compilação e Análise de Dados Secundários* (seção 10.1.1), bem como dados primários gerados pela execução do *Plano de Investigação Detalhada para Meio Ambiente*, serão realizadas as seguintes tarefas de validação, conforme descrito no documento “*Guidance for Data Usability in Risk Assessment – Part A*” da US EPA (1991):

1. Identificação dos pontos de coleta de amostras

Para a validação desse item, inicialmente, serão identificadas as coordenadas dos pontos de coleta de amostra que foram reportadas. A partir dessa identificação será avaliado se as coordenadas reportadas permitem o georreferenciamento dos pontos de coleta e se esses pontos estão localizados dentro dos limites da Área Alvo.

Na impossibilidade de georreferenciamento dos pontos de coleta, esses pontos e seus respectivos dados não serão utilizados em um primeiro momento. Nesses casos, com o objetivo de não descartar nenhum dado disponível para a Área Alvo, será feito contato com a equipe responsável pela produção dos dados para verificar a possibilidade de obtenção das coordenadas que possam ser georreferenciadas.

2. Procedimentos de coleta

Os procedimentos de coleta de amostras utilizados por cada conjunto de dados serão avaliados para garantir a utilização de métodos nacionais padronizados. Para matrizes ambientais que não possuem procedimentos de coleta nacionais, serão utilizadas referências de métodos internacionais. Os procedimentos de coleta a serem priorizados são apresentados No Projeto Detalhado dos Estudos de ARSH.

Adicionalmente, será avaliado se as amostras coletadas são adequadas para utilização em estudos de avaliação de risco à saúde humana. Para esse fim, as seguintes referências serão utilizadas:

- Capítulo 5 do “*Risk Assessment Guidance for Superfund*” da US EPA (1989a); e

- Capítulo 4 do “*Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund*” da US EPA (1997).

Além disso, serão observados se procedimentos de controle e garantia de qualidade da amostragem foram utilizados para a coleta das amostras. Os seguintes documentos serão utilizados como referência de procedimentos de controle e garantia de qualidade da amostragem:

- Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas (2011);
- Norma ABNT NBR 16.435 de 2015;
- “*Field Sampling Procedures Manual*” (US.EPA, 2005)
- “*Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies*” (US.EPA, 2005);
- Capítulo 5.4 do RAGS da US EPA (1989a).

Neste contexto, partindo da aplicação metodológica dos documentos supramencionados, serão realizadas minimamente as seguintes análises:

- Os métodos de coleta e amostragem devem estar de acordo com a norma utilizada, quando aplicável, e claramente descritos no relatório ou nos laudos laboratoriais. Ressalta-se que os procedimentos devem seguir, preferencialmente, normas nacionais. Quando não há normas nacionais ou internacionais, é necessário que o procedimento aplicado seja detalhadamente descrito e esteja alinhado com o procedimento proposto neste documento;
- Os métodos de acondicionamento, transporte, recebimento e analíticos devem ser citados/descritos no relatório ou nos laudos laboratoriais e devem estar de acordo com o estabelecido na norma técnica ou guia previamente aceitos pelo órgão ambiental do estado de Minas Gerais (MG), considerando a matriz e o parâmetro analisado;
- As coletas de amostras controle e branco devem estar de acordo com o estabelecido nas normas técnicas e guias previamente aceitos pelo órgão ambiental do estado de Minas Gerais (MG), considerando a matriz e o parâmetro analisado. As amostras de controle de qualidade serão analisadas quanto à presença de concentrações anômalas, representatividade do lote controlado e confiabilidade dos resultados.
- Todas as informações sobre a coleta, amostragem e análise em laboratório devem ser registradas em cadeia de custódia (COC) e/ou ficha de campo. É necessário que esses documentos sejam apresentados devidamente preenchidos

para que sejam validados. Seguindo, então, o proposto por ABNT (2015), a COC deve apresentar:

- a. Identificação do projeto, nome e endereço da área de interesse;
- b. Empresa responsável pela coleta;
- c. Identificação e assinatura do técnico responsável pela coleta;
- d. Identificação e assinatura do responsável pelo transporte;
- e. Identificação e assinatura do técnico responsável pelo recebimento das amostras no laboratório;
- f. Identificação da amostra;
- g. Identificação da matriz a ser analisada;
- h. Parâmetros de interesse a serem analisados;
- i. Quantidade de frascos utilizados por amostra;
- j. Especificação dos preservantes eventualmente utilizados;
- k. Data e horário de amostragem;
- l. Data e horário de entrega ao laboratório;
- m. Temperatura de chegada ao laboratório.

Serão avaliadas as amostras coletadas para branco de campo, considerando uma por atividade ou a cada lote de 10 amostras, já os brancos de equipamento devem ter sido coletados toda vez que o equipamento for utilizado e, por fim, as duplicatas devem representar 5% do total de amostras.

As amostras duplicatas serão consideradas suficientes uma vez que representam mais de 5% do total de amostras. São consideradas normais variações de amostras duplicatas na ordem de 20% (ANA, 2011) entre o Resultado Original (R1) e o Resultado da Duplicata (R2), através da fórmula para variações entre resultados (RPD):

$$RPD = \left[\frac{(R1 - R2)}{\frac{(R1 + R2)}{2}} \right] \times 100$$

Também serão utilizados outros critérios em função da heterogeneidade amostral. USEPA (2018) avalia variações em matrizes aquosas e não aquosas entre o Resultado Original

(R1) e o Resultado da Duplicata (R2) para amostras com concentração superior ou igual a cinco vezes o LQ, dados os seguintes critérios, para matrizes não aquosas:

- $RPD < 50\%$, as duplicatas são válidas;
- $RPD \geq 50\%$, as duplicatas são avaliadas como:
- $|R1-R2| \geq 2*LQ$, o resultado da amostra é impreciso e deve ser discutido com ressalva;
- $|R1-R2| < 2*LQ$, as duplicatas são válidas.

3. Procedimentos de preservação e envio de amostras

A validação desse item ocorrerá através da avaliação das cadeias de custódia (COCs) das campanhas de amostragem de cada conjunto de dados a ser validado. A preservação e envio de amostras serão validados quando as cadeias de custódia e o *check-list* de recebimento de amostras são apresentados devidamente assinados pelo laboratório utilizado para as análises químicas.

Quando as cadeias de custódia e o *check-list* de recebimento de amostras não estiverem disponíveis, com o objetivo de não descartar nenhum dado disponível, será feito contato com a equipe responsável pela produção dos dados para verificar a documentação disponível que comprove a validação dos procedimentos de preservação e envio de amostras.

4. Laboratórios

Para validação deste item, a acreditação do laboratório utilizado para análises químicas e seu respectivo escopo de acreditação serão avaliadas, tendo como referência a ABNT NBR ISO 17.025:2017. Essa avaliação visa garantir que o laboratório utilizado possui escopo de acreditação para análises químicas de todas as substâncias químicas a serem analisadas em todas as matrizes ambientais amostradas.

Somente serão aceitos, para fins de avaliação de risco à saúde humana, resultados analíticos laboratoriais gerados por laboratórios que possuam acreditação ABNT NBR ISO 17.025:2017, considerando a lista de substâncias químicas e matrizes ambientais previstas nos modelos conceituais, os Limites de Quantificação (LQ) da amostra sempre menores que os Padrões Legais Aplicáveis (PLA) correspondentes

Caso as análises químicas tenham sido realizadas em laboratórios de universidade e trabalhos acadêmicos, que podem não possuir acreditação segundo a ABNT NBR ISO 17.025:2017, essas análises não poderão ser aceitas como válidas, para fins de avaliação de risco à saúde humana.

5. Procedimentos Laboratoriais

A validação desse item será feita com base nos métodos analíticos utilizados para a determinação das concentrações das substâncias químicas a serem analisadas, bem como os métodos de preparação das amostras. Será garantido que os métodos analíticos utilizados pelos diferentes conjuntos de dados são comparáveis, incluindo a verificação de ensaios de recuperação, quando disponíveis.

Adicionalmente, serão avaliados os limites de quantificação e detecção dos métodos analíticos utilizados, garantindo-se que: os limites de quantificação da amostra (LQ) são inferiores aos valores de referência regulatórios aplicáveis à matriz ambiental; os limites de detecção (LD) sejam disponibilizados sempre que disponíveis; na ocorrência de resultados inferiores ao LQ, ou seja, quando a concentração de um determinado composto não pôde ser determinada com o nível de confiança máximo do método analítico, seja reportado se houve ou não detecção do composto.

Neste contexto, serão avaliados minimamente os seguintes itens:

- Todos os laudos analíticos laboratoriais devem ser apresentados no documento;
- Os laudos laboratoriais, segundo ABNT (2015) devem apresentar valores de recuperação de traçadores (*surrogates*), valores adicionados e recuperados no branco fortificado do laboratório (*spike*), com a unidade, incerteza de medição para cada resultado reportado e branco de método (deve ser inferior ao limite de quantificação);
- Os limites de detecção ou quantificação dos métodos analíticos devem estar expressos no documento. É imprescindível que os limites de quantificação dos métodos analíticos sejam inferiores aos Padrões Legais Aplicáveis.

9.2 Dados do Meio Físico

Os dados secundários obtidos serão suficientes para geração de uma base de dados ambientais que possa ser utilizada para o desenvolvimento das Avaliação de Risco a Saúde Humana. Caso contrário, serão complementados pela execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*.

Os parâmetros do meio físico a serem validados devem estar relacionados às características geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas que podem influenciar o comportamento e o transporte do contaminante no meio físico.

Neste contexto será avaliado:

1. Solo e Rocha

A descrição pedológica e litológica da área deve seguir o descrito na ABNT NBR 15492 (Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento), bem como estar adequada para possibilitar a caracterização do comportamento dos contaminantes no meio físico, sendo necessário, para tanto:

- Verificar se as amostras de solo superficial foram coletadas até no máximo 10 centímetros de profundidade, sendo esta composta a partir de oito alíquotas obtidas a partir da definição de um círculo de dois metros de raio;
- Verificar se os pontos de amostragem nas áreas não impactadas foram definidos nas mesmas condições geomorfológicas relativas à área impactada;
- Verificar se o número e a distribuição das sondagens realizadas são adequados;
- Verificar se a descrição das sondagens ambientais, no caso de solo subsuperficial, foi feita pela identificação de extratos diferenciados ao longo do perfil de sondagem identificando o que é solo natural e lama de rejeitos. Este procedimento não é válido para solo superficial, haja vista que este é coletado até 10cm de profundidade no máximo.
- Verificar se para cada extrato descrito acima foi obtida amostra representativa para análise textural;
- Verificar se as amostras de solo subsuperficial destinadas à análise química obtidas em um determinado perfil de sondagem foram coletadas para cada extrato descrito no perfil de sondagem;
- Verificar se as profundidades alcançadas pelas sondagens ultrapassaram a espessura local da lama de rejeito, quando esta ocorrer, e se a descrição do material amostrado foi realizada adequadamente;
- Verificar a consistência da interpretação dos dados geofísicos, quando disponíveis;
- Verificar se na interpretação da geologia local foram levadas em consideração as características geológicas regionais;
- Verificar se na interpretação da geoquímica local foram levadas em consideração as características geoquímicas regionais;
- Verificar a qualidade e consistência dos dados provenientes das determinações realizadas para cada uma das camadas representativas para a caracterização do solo e rocha sã (quando aplicável), tais como granulometria, pH, potencial redox, fração de carbono orgânico, capacidade de troca catiônica (CTC), densidade aparente, umidade, permeabilidade, porosidade total e efetiva.

2. Aquífero

A caracterização hidrogeológica da Área Alvo deve ser avaliada, quando previsto no Modelo Conceitual, sendo necessário, para tanto, verificar:

- Se a instalação dos poços de monitoramento, quando aplicável, foi realizada conforme a ABNT NBR 15495-1 e 15495-2 (Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares).
- Se a classificação do aquífero, conforme as Resoluções CONAMA nº 396/2008 e CONAMA nº 420/2009 e suas revisões posteriores;
- Se na interpretação da hidroquímica local foram levadas em consideração as características hidroquímica regionais;
- Quando disponível, se o mapa potenciométrico foi elaborado adequadamente, considerando o número de pontos de medição de nível d'água, a data de medição e o nivelamento dos poços;
- Quando disponível, se a geometria das linhas equipotenciais é consistente com a geologia e o relevo locais e se possibilita a identificação de áreas de recarga ou descarga eventualmente existentes ao longo da seção do rio compreendida na Área Alvo;
- Quando disponível, se o sentido de fluxo das águas subterrâneas é consistente, considerando a potencimetria;
- Se a taxa de infiltração/recarga, porosidade efetiva, condutividade hidráulica, carga hidráulica, espessura saturada e gradiente hidráulico foram determinados ou se foram estimados. Em caso de estimativa, verificar a adequação desses parâmetros para o uso pretendido e a fonte de dados, caso contrário, verificar se a quantidade de dados é suficiente e identificar se a metodologia utilizada para as determinações foi a adequada;
- Quando previsto e identificado no Modelo Conceitual da Área Alvo, aquíferos profundos devem ser avaliados quanto as suas características e utilização, em caso de aquíferos confinados e semiconfinados, verificando a possibilidade de estarem conectados com o aquífero livre;
- A existência de aquitardes, aquicludes e aquíferos suspensos, estabelecendo a conexão entre eles;
- A existência e localização de poços de captação de água subterrânea, suas características construtivas, dados de produção, dados de teste de bombeamento, informações sobre zona de captura, bem como a geologia a eles associada;
- Se foram realizadas determinações de granulometria, pH, potencial redox, carga hidráulica, condutividade hidráulica, espessura saturada, gradiente hidráulico e porosidade efetiva, e caso necessário a fração de carbono orgânico.

3. Águas superficiais

Para os corpos d'água encontrados na Área Alvo, será necessário verificar:

- O enquadramento, conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, e suas revisões posteriores;
- O sentido de escoamento e sua relação com o sistema de drenagens regional;
- A vazão do corpo d'água (preferencialmente a Q7,10 - vazão mínima de 7 dias seguidos em um período de recorrência de 10 anos), para o caso de rios;
- Sua perenidade e a vazão de recarga ou descarga associada ao aquífero local, caso necessário;
- A largura e a profundidade do corpo d'água, caso necessário;
- Avaliar estudos de hidrosedimentologia, modelamento de fluxos de água superficial, balanços hídricos da bacia de contribuição na qual está inserida a Área Alvo, quando disponíveis;
- Os resultados de determinações realizadas, tais como pH, condutividade elétrica, potencial redox, oxigênio dissolvido, temperatura, sólidos totais em suspensão e dissolvidos.

4. Ar

As características do compartimento ar e do clima da área de interesse devem ser avaliadas visando ao entendimento do comportamento de fenômenos de transporte, quando aplicável, sendo necessário verificar:

- 1 A velocidade média, a direção e o sentido predominante dos ventos;
- 2 Se a rosa dos ventos foi apresentada;
- 3 A temperatura média do ar;
- 4 A umidade relativa do ar;
- 5 A pressão atmosférica;
- 6 A taxa de precipitação média anual, a taxa de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial;
- 7 As variações sazonais associadas ao ciclo hidrológico;
- 8 Avaliar estudos de monitoramento atmosféricos para diferentes tipos e tamanhos de partículas em suspensão, identificando a correlação dos pontos de exposição humana e ecológica com os pontos de monitoramento;
- 9 Avaliar estudos de modelamento matemático de dispersão atmosférica, identificando sua abrangência e correlação com a Área Alvo.
- 10 A morfologia da área de interesse.

9.3 Avaliação de Suficiência e Representatividade

A *Avaliação de Suficiência e Representatividade* será executada ao final da etapa de *Compilação e Análise de Dados* e ao final da execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*.

Inicialmente, todos os dados secundários obtidos na etapa de *Compilação e Análise de Dados* serão utilizados na etapa de *Avaliação de Suficiência e Representatividade*, sendo que os dados considerados válidos serão utilizados para o dimensionamento do *Plano de Investigação Detalhada para Meio Ambiente*. Após a execução do plano de investigação, a *Avaliação de Suficiência e Representatividade* será novamente realizada para confirmação da representatividade estatística e geoestatística dos dados primários obtidos em campo e laboratório. Este procedimento visa assegurar que o conjunto de dados (secundários e primários) somados será a base suficiente e representativa para o desenvolvimento das etapas subsequentes da ARSH.

A *Avaliação de Suficiência e Representatividade* indicará a distribuição espacial das substâncias detectadas acima dos Padrões Legais Aplicáveis (PLA), determinando sua frequência, comprovando a integridade e representatividade da amostragem dos compartimentos do meio físico e ambientais de interesse, bem como definindo sua suficiência para quantificação do risco à saúde humana.

Serão buscados dados de amostras coletadas nas três regiões de exposição definidas para a Área Alvo em estudo: Região de Exposição Direta (RED), Região de Exposição Indireta (REI) e Região de Não Exposição (RNE). Entende-se que a amostragem em área impactada (RED) permitirá identificar qualquer substância que esteja acima do padrão legal aplicável (PLA) e que possa ter relação com rompimento da barragem B-I, incluindo o grupo de substâncias que podem ter sido remobilizadas pelo evento.

Para aplicação adequada da *Avaliação da Suficiência e Representatividade de Dados*, será importante considerar as localidades de referência (RNE), que representam áreas na Área Alvo ou fora dela que não foram impactadas pelo rompimento da barragem B-I. Nestas localidades, durante as expedições de campo a serem realizadas para execução do Plano, serão obtidas amostras de cada compartimento de interesse nas localidades de referência, que tenham as mesmas características básicas dos compartimentos de interesse da região contaminada da Área Alvo.

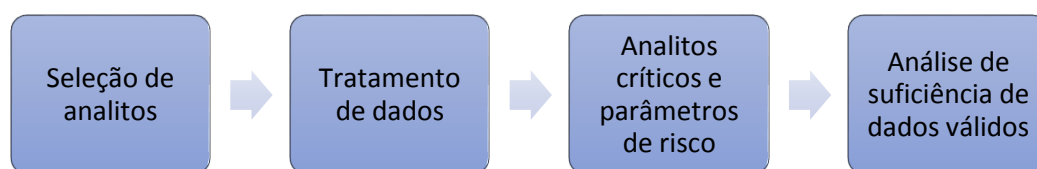
A partir do processo de validação dos dados disponíveis, a metodologia de suficiência será então conduzida considerando a distinção entre matrizes a partir das considerações sobre continuidade espacial. Um primeiro grupo de matrizes é avaliado considerando continuidade espacial, como solo superficial e água subterrânea, e as matrizes que não apresentam

continuidade espacial representam outro conjunto de dados, como água e sedimentos superficiais, poeira domiciliar e matrizes ambientais (alimentos).

A condução da análise de suficiência de dados com vistas à ARSH para os compartimentos é dada após o processo de seleção de analitos, tratamento de valores abaixo dos limites de detecção/quantificação, definição do(s) analito(s) crítico(s) (ou indicador) e do parâmetro de risco.

O fluxograma indicado na Figura 2 apresenta de maneira esquemática esse procedimento. As etapas indicadas no fluxograma são detalhadas nos tópicos seguintes.

Figura 2 – Procedimentos para condução da análise de suficiência de dados válidos



9.3.1 Seleção de analitos

A seleção dos analitos considerados para a análise de suficiência é baseada no parâmetro estatístico a ser estimado. No caso da ARSH para as diferentes segmentações propostas, o parâmetro populacional de interesse para cada Área Alvo é a média populacional (μ). As recomendações disponíveis em USEPA (2000) para avaliação da média populacional dizem respeito a classificações de analitos em função da porcentagem de “não-deteção” (valores abaixo do limite de detecção, LD). A presente metodologia trata as recomendações indicadas no relatório USEPA (2000), indicadas para valores “não-detectados”, como sendo análogas para os valores “não-quantificados”. Isto decorre da ausência dos limites de detecção dos resultados laboratoriais disponibilizados para as matrizes e analitos. Uma vez que os limites de quantificação são descritos nos laudos laboratoriais (e nas bases de dados fornecidas), o procedimento indicado no documento USEPA (2000) é adaptado para esses limites.

A recomendação dada por USEPA (2000) é de que a porcentagem de “não-deteção” esteja abaixo de 30%, de forma a tornar adequado o uso do parâmetro média nos cálculos inferenciais, independente da magnitude do coeficiente de variação esperado. Dessa forma, a seleção de analitos se dá a partir da classificação dos analitos que apresentarem menos de 30% de “não-quantificação” (valores abaixo do limite de quantificação, LQ). Os demais analitos serão desconsiderados para avaliação de suficiência.

9.3.2 Tratamento de dados

A partir da seleção de analitos um tratamento/processamento de dados será conduzido. USEPA (2000) indica diferentes tratamentos para valores abaixo dos limites de detecção/quantificação, discriminando as possibilidades em função da porcentagem de valores não-detectados. O documento discrimina as porcentagens em “0 -15%”, “15-50%” e “>50%” de valores encontrados abaixo dos limites indicados.

Dessa forma, dentre os analitos filtrados na etapa de seleção, aqueles que apresentarem porcentagem de “não-quantificação” menor que 15% terão seus valores abaixo de LQ substituídos pelo próprio limite indicado (método da substituição).

Para os analitos com porcentagem entre 15% e 30%, o método de “Winsorização” de dados será adotado para tratamento dos valores abaixo de LQ. Nesse método, a quantidade de valores abaixo do LQ é substituída pelo menor valor quantificado. Em contrapartida, a mesma quantidade de observações é alterada para os maiores valores observados no conjunto de dados, utilizando o maior valor abaixo destes para substituição. Ao final do tratamento de dados é possível calcular a média “Winsorizada” e um desvio padrão “Winsorizado”. Este desvio padrão “Winsorizado” é diferente do desvio padrão do conjunto de dados alterado, fazendo com que o cálculo do desvio considere a perda de informações decorrente das modificações adotadas. O desvio padrão “Winsorizado” será calculado em função do desvio padrão amostral, número de elementos (n) e número de observações quantificadas (q) como: $S_{\text{winsorizado}} = S * (n-1) / (2q-n-1)$.

A notação $S_{\text{utilizado}}$ é adotada para avaliações de dispersão dos analitos, sendo que $S_{\text{utilizado}}$ é coincidente com o desvio padrão amostral em matrizes com porcentagem de “não-quantificação” abaixo de 15% e $S_{\text{utilizado}} = S_{\text{winsorizado}}$ para o caso de matrizes com porcentagem entre 15% e 30%.

9.3.3 Analitos críticos e parâmetro de risco (Cs)

O analito crítico (indicador ou de interesse) para avaliação da suficiência de dados é definido conforme:

- Para as matrizes sem continuidade espacial, serão avaliadas as porcentagens excedidas em relação ao VI (PLA) adotado, bem como a razão entre o valor limite e desvio padrão ($S_{\text{utilizado}}$) verificado. O analito de interesse é definido como o de menor razão limite ($VI/S_{\text{utilizado}}$) e maior porcentagem excedida. Em caso de divergência entre os critérios, ambos analitos serão avaliados.

- Para as matrizes com continuidade espacial, serão avaliadas as porcentagens excedidas em relação ao VI (PLA) adotado. O analito de interesse é definido como o de maior porcentagem excedida.

A determinação dos analitos é realizada em função do valor de intervenção (VI) do analito químico. A avaliação de suficiência também é sugerida inicialmente utilizando esse limite regulatório como parâmetro de risco, denotado por “ C_s ”, uma vez que este é um parâmetro associado a um cenário de exposição genérico e, portanto, mais restritivo.

Porém, há a possibilidade de o analito sob análise ocorrer naturalmente em concentrações superiores ao VI, não sendo caracterizado como contaminação, mas sim como valor de *background* elevado. Nesses casos, se o valor de *background* da região sob análise puder ser obtido ou ter sua ordem de grandeza estimada e o nível basal encontrado for superior ao VI, a definição de C_s é alterada. Utiliza-se então o conceito de concentração máxima aceitável como C_s .

A concentração máxima aceitável (CMA) refere-se à concentração limite para ocorrência de riscos à saúde humana teóricos no cenário avaliado, determinada a partir de parâmetros específicos para a área de interesse de análise.

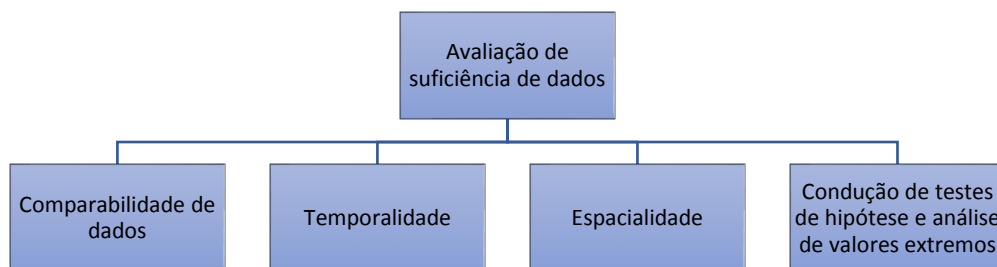
Quando não há valores de *background* disponíveis e, portanto, não é possível separar os dados provenientes de “amostras naturais” e “amostras contaminadas”, avalia-se a média amostral do conjunto de dados do analito crítico em relação ao VI desse analito, com as seguintes classificações:

- a) Se a média amostral é inferior a $1.5 \cdot VI$: utiliza-se o VI como C_s , conforme o procedimento padrão;
- b) Se a média amostral é superior a $1.5 \cdot VI$: utiliza-se a CMA como C_s , pois há possibilidade de indicação de valores de *background* naturalmente elevados.

9.3.4 Análise de suficiência de dados válidos

A análise de suficiência de dados válidos consiste na análise de resultados dos analitos críticos identificados, contemplando as seguintes avaliações: comparabilidade de dados (quando da disponibilidade de fontes de dados provenientes de campanhas distintas), análise de temporalidade, análise de espacialidade das concentrações, avaliação de níveis basais, condução de testes de hipótese e análise de valores extremos (**Figura 3**).

Figura 3 – Tópicos envolvidos na avaliação de suficiência de dados



Como indicado na **Figura 3**, os quesitos envolvidos na avaliação da suficiência de dados para aplicações em ARSH apontam para um maior controle e entendimento dos fenômenos envolvidos no processo. Tal controle fornece um cenário robusto à tomada de decisão quanto à necessidade de amostragem complementar ou confirmação de suficiência de dados.

Dessa forma, a presente metodologia é baseada no entendimento de que a suficiência de dados é função das condições observadas e das especificidades de cada matriz com relação aos tópicos levantados. De forma resumida, as seguintes considerações serão feitas:

- A comparabilidade de dados será avaliada quando da presença de mais de uma fonte de dados disponível.
- A temporalidade de dados se mostra de interesse prático quando da disponibilidade de dados válidos provenientes de campanhas com medições temporais (campanhas de monitoramento, como, por exemplo, IGAM) uma vez que possibilita análise de sazonalidade e outros fenômenos temporais.
- A espacialidade das concentrações será avaliada em todas as matrizes, com modelagem geoestatística para matrizes com continuidade espacial e mapas discretos de disposição espacial das concentrações para matrizes sem continuidade espacial. Uma avaliação específica para matrizes sem continuidade espacial provenientes de população finita (poeira domiciliar ou matrizes ambientais) será conduzida.
- Uma avaliação de níveis basais será conduzida a partir da busca por valores de *background* em literatura e/ou a partir da avaliação de resultados em regiões “não-expostas” ou “pré-evento”.

- Inferências sobre a média populacional serão feitas a partir da realização de testes de hipótese para médias em matrizes sem continuidade espacial. Tais testes terão, em primeiro momento, a comparação da média com o parâmetro de risco (C_s) definido, podendo ser aplicados também para comparações entre unidades de exposição e áreas alvo.
- Avaliações de valores extremos serão conduzidas considerando critério de outlier baseado em análise descritiva de dados (critério de Tuckey), o parâmetro de risco e distribuição das concentrações. A possibilidade de utilização de testes para *outliers* também será avaliada.
- As análises inferenciais baseadas nos testes de hipótese, análise de valores extremos e na aplicação de modelagem geoestatística pressupõem um quantitativo mínimo de pontos coletados.

A indicação do quantitativo mínimo para condução da análise de suficiência bem como o panorama geral da metodologia associada aos tópicos levantados são expostos nos itens a seguir. Maiores detalhamentos metodológicos são encontrados no Apêndice 01.

9.3.4.1 Quantitativo mínimo para condução da análise de suficiência

Para condução adequada das análises previstas na Figura 3 um quantitativo mínimo de pontos se faz necessário.

Em USEPA (2000), recomenda-se a utilização de ao menos 20 observações em cálculos estatísticos para evitar a ocorrência de viesamento de resultados e diminuição da eficiência e performance dos objetivos estatísticos especificados. Tal recomendação decorre da dificuldade em assegurar a consistência das distribuições de probabilidade assumidas nos modelos estatísticos a partir de número de elementos amostrais reduzidos.

Dessa maneira, matrizes que apresentem mais de 20 observações inseridas na região sob análise serão consideradas para avaliação de suficiência sem ressalvas.

O documento *“ProUCL Version 5.1 Technical Guide - Statistical SoftwARSH for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetected Observations”* elaborado pela US EPA em 2015 recomenda o requisito mínimo de 10 observações para utilização do ferramental estatístico presente no software ProUCL. O documento enfatiza que essa recomendação não deve ser interpretada de maneira generalizada e indica máximo esforço para coleta de número de amostras baseado nos objetivos de performance adotados no plano de amostragem.

A presente metodologia, baseada nas duas referências citadas, descarta quaisquer resultados com menos de 10 observações, tornando este o número mínimo de pontos para avaliação de suficiência. Contudo, se o número de observações da matriz analisada estiver entre 10 e 20, a análise dos resultados de suficiência será feita com ressalvas a partir do número limitado de amostras.

Em termos de avaliações da espacialidade da resposta para matrizes com continuidade espacial (conduzidas a partir da utilização de modelagem geoestatística), a *Interstate Technology & Regulatory Council* - ITRC (2016), recomenda a necessidade de, ao menos, 15 observações para aplicação de métodos avançados (como a Krigagem Ordinária). Nesse caso, este se torna o quantitativo mínimo para avaliação de suficiência dessas matrizes.

9.3.4.2 Comparabilidade de dados

Como indicado pela USEPA no documento *"Guidance for Data Usability in Risk Assessment - Part A"* (1991) o agrupamento de dados será desejável do ponto de vista de avaliação de risco. Contudo, a USEPA recomenda a análise de determinados critérios para avaliar a comparabilidade dos dados e seu possível agrupamento. Os critérios são: análises de planos de amostragem (design de amostragem, do inglês *Sampling Design*), métodos de filtração e conservação de amostras, metodologias de análise e limite de quantificação, lista de compostos analisados e comparabilidade dos dados. Este último critério é discriminado em comparabilidade estatística de dados (aplicável a matrizes sem continuidade espacial) e comparabilidade espacial de dados (aplicável a matrizes com continuidade espacial).

A comparabilidade espacial dos dados será realizada no contexto da análise de correlação espacial. Os critérios de métodos de filtração e conservação das amostras, metodologias de análise e limite de quantificação bem como lista de compostos analisados são discutidos em tópico conjunto denominado "metodologia de amostragem".

A USEPA (1991) também indica alguns fatores além da estatística que devem ser levados em consideração quando se objetiva a combinação de dados de campanhas diferentes. Propriedades físicas como padrões climáticos, chuvas e características geológicas em diferentes áreas de exposição são alguns exemplos. Efeitos temporais, como a sazonalidade ou o período de amostragem, entre outros, são analisados separadamente. Considerando esses fatores, a análise de comparabilidade de dados é conduzida após a avaliação de "temporalidade" para devida consideração de efeitos temporais dos dados provenientes de fontes diferentes.

Em caso de dados não-comparáveis e, portanto, não-agrupáveis, serão utilizados os resultados obtidos que privilegiem o maior quantitativo de elementos para condução das análises.

Os tópicos relacionados à análise de plano de amostragem, metodologia de amostragem, temporalidade de dados e comparabilidade estatística de dados são discutidos e detalhados no Apêndice 01.

9.3.4.3 Espacialidade

A espacialidade das concentrações observadas é discriminada em matrizes que não apresentam e que apresentam continuidade espacial. Para as primeiras, a elaboração de mapas com pontos discretos associados aos resultados da análise de valores extremos permitirá a avaliação da espacialidade da matriz. Já para matrizes com continuidade espacial é previsto o uso de modelagem geoestatística, conforme exposto a seguir

9.3.4.3.1 Matrizes com continuidade espacial

A Krigagem é um método de interpolação espacial que permite estimar valores em locais não amostrados e fornece uma estimativa da incerteza nos valores interpolados. Para matrizes com continuidade espacial o “comportamento” dos dados coletados envolve não somente a quantidade, mas também a localização dos pontos e variação espacial das amostras. Tendo em vista essas variáveis que devem ser consideradas, opta-se pelo uso do método da Krigagem Ordinária para análise de suficiência dos dados. Neste método são utilizados modelos probabilísticos, nos quais ponderações consideram a forma e a orientação do conjunto de observações e a incerteza associada aos valores estimados será calculada e minimizada para o ajuste de modelos. Segundo ISAAKS e SRIVASTAVA (1989), a Krigagem Ordinária é considerada como o "melhor estimador imparcial linear".

Tendo em vista a escala dimensional das Áreas Alvo a serem estudadas, a heterogeneidade e complexidade relacionadas às características do meio físico, em conjunto com a quantidade de dados e fontes de dados distintas, além da comparabilidade metodológica entre fontes (em termos de análise do plano de amostragem; temporalidade; procedimentos de coleta, conservação e análise laboratorial de amostras) para a aplicação da Krigagem Ordinária para análise de suficiência de dados, foram adotados os seguintes critérios a serem avaliados, listados nos subtópicos seguintes.

Um conceito aplicado no presente projeto foi o de Índice de Dependência Espacial (IDE), apresentado por CAMBARDELLA *et al.* (1994), que a partir dos aspectos geométricos do semivariograma, analisa e classifica a dependência espacial dos dados. O índice é expresso pela porcentagem da razão entre o efeito pepita (“*nugget*”) sobre o patamar (“*sill*”). Assim, a porcentagem obtida é utilizada para distinguir diferentes classes de dependência espacial entre as amostras. Para valores entre 0 a 25%, a dependência é classificada como forte. Para valores

entre 25 a 75% a dependência é moderada, e para valores superiores à 75% a dependência é fraca.

9.3.4.3.2 Índice de Moran

As regiões sob análise podem apresentar diversos conjuntos de dados oriundos de fontes distintas. Nesse caso, o teste de análise de correlação espacial do índice de Moran será realizado com o objetivo de:

- Verificar se, para a configuração da malha envolvendo o agrupamento de diferentes conjuntos, há correlação espacial positiva;
- Quantificar e classificar a correlação espacial dos agrupamentos de conjuntos de amostras.

Para isso, a análise será realizada para os conjuntos de amostras totais de cada região avaliada.

Segundo indicado no livro “Análise Espacial de Dados Geográficos” desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a correlação espacial de um conjunto de dados será medida através do índice de Moran (CÂMARA *et al.* 2004).

O índice de Moran (I) mede a autocorrelação espacial de um conjunto de dados a partir do produto dos desvios em relação à média. Este índice é uma medida global da autocorrelação espacial, pois indica o grau de associação espacial presente no conjunto de dados. O índice de Moran (I) presta-se a um teste cuja hipótese nula é de independência espacial, neste caso, seu valor seria zero. No caso de índices diferentes de zero a independência espacial dos dados é descartada pelo teste. Neste caso abordagens puramente estatísticas não devem ser realizadas, uma vez exigem independência de dados. Para índices diferentes de zero, o teste de Moran indica que há autocorrelação espacial, ou seja, os dados não são independentes espacialmente.

Valores positivos (entre 0 e 1) indicam correlação direta e negativos (entre 0 e -1) correlação inversa, enquanto a proximidade de 1 (em módulo) indica a intensidade dessa correlação. Neste caso, índice distantes de 1 (próximos de 0) são classificados como correlação fraca e índices próximos de 1 são classificados como correlação forte.

A validade estatística do índice de Moran (I) é avaliada a partir do teste de pseudo-significância para o índice. Nesse teste são geradas diferentes permutações dos valores de atributos associados às diferentes regiões do espaço; cada permutação produz um novo arranjo espacial, onde os valores estão redistribuídos entre as regiões. Como apenas um dos arranjos

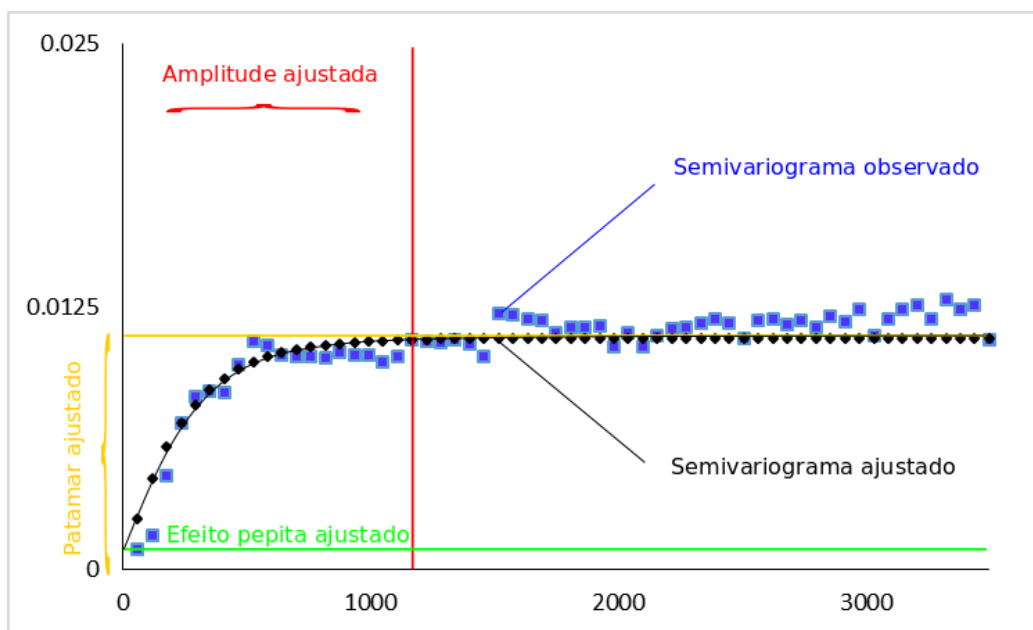
corresponde à situação observada, pode-se concluir uma distribuição empírica de I. Se o valor do índice I medido originalmente corresponder a um “extremo” da distribuição simulada, então se tratará de valor com significância estatística.

A significância máxima adotada para as análises de correlação espacial da presente metodologia será de 10%. Neste caso, se a pseudo-significância calculada nos testes for igual ou inferior a 0.10, o teste será validado estatisticamente, ou seja, a interpretação do índice será válida. No caso de valores acima de 10%, o teste passa a ser inconclusivo e a autocorrelação será medida através de outra metodologia.

9.3.4.3.3 Ajuste de semivariograma

Ao modelar o semivariograma, a autocorrelação será avaliada e quantificada por meio da modelagem espacial. Na modelagem espacial, um semivariograma sintético, também chamado de empírico, é gerado com base em um modelo matemático (exponencial, esférico, gaussiano, etc.) e os parâmetros são ajustados com o objetivo de aderir ao semivariograma de semivariâncias observadas (**Figura 4**).

Figura 4 – Exemplo Esquemático de geração de semivariograma

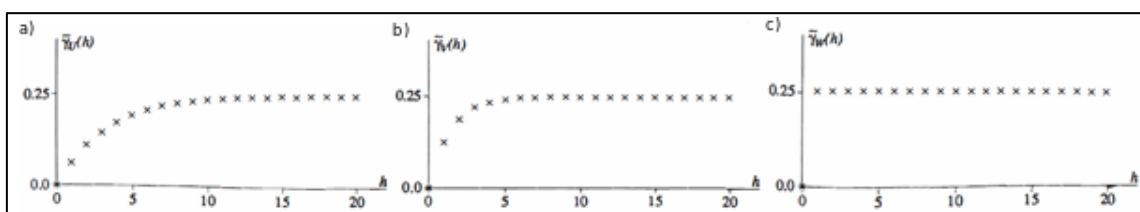


O semivariograma empírico fornece informações sobre a autocorrelação espacial dos conjuntos de dados. No entanto, eles não fornecem informações para todas as direções e distâncias possíveis. Dessa forma, o ajuste do semivariograma tem como objetivo garantir que as previsões da krigagem tenham maior aderência aos dados observados. Entretanto, dados amostrados podem não apresentar um padrão claro de continuidade espacial e no caso de

compartimentos ambientais analisados no âmbito das geociências (solo e água subterrânea) a falta de padrão de continuidade espacial será um indicativo de insuficiência no número de amostras ou de erros de amostragem (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

Para semivariogramas empíricos ajustados, a progressão da curva é um indicador de continuidade da variável observada no espaço. Um semivariograma com comportamento parabólico e com crescimento “lento” (**Figura 5a**) reflete boa continuidade espacial, já uma forma linear e com crescimento “rápido” **Figura 5b**) reflete moderada continuidade no espaço (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). No caso de inclinações aproximadamente perpendiculares desde a origem (**Figura 5c**), o modelo reflete a ausência de continuidade espacial.

Figura 5 – Modelos de curvas nos semivariogramas



Fonte: retirado de Isaaks & Srivastava (1989).

O parâmetro de *lag* é ajustado com base no critério sugerido pela ESRI (2020): o tamanho do *lag* será adotado como distância média entre pontos e seus vizinhos mais próximos e o número de *lags* é ajustado de acordo com a maior distância do conjunto de dados observados, preferencialmente não superando metade do valor máximo. Entretanto, durante a modelagem espacial esses parâmetros não necessariamente precisam se adequar a esses critérios, uma vez que não se trata de regras explícitas, mas de sugestões para ajustes iniciais. Já os parâmetros de patamar e efeito pepita são ajustados com base direta na modelagem espacial, de forma a gerar maior adesão do semivariograma empírico e aos dados observados.

9.3.4.3.4 Regressão linear

A partir do ajuste do semivariograma do conjunto de dados é gerado um modelo de interpolação numérico para as concentrações distribuídas em função das coordenadas espaciais. Um modelo de regressão linear simples (MRLS) entre as concentrações medidas e as concentrações estimadas pela interpolação será analisado.

Para avaliação da adequação do modelo ajustado serão utilizados o coeficiente de determinação (R^2) da interpolação e uma breve análise de erros residuais (diferença entre o valor observado nas amostras e o valor estimado pelo modelo).

O coeficiente de determinação (R^2) de um MRLS reflete a porcentagem da variabilidade total da variável predita (no caso, concentração interpolada em função do espaço) explicada pelo modelo proposto. Nesse sentido, quanto maior a aderência dos dados ao modelo, maior será o coeficiente de determinação (R^2).

Para os modelos de regressão linear analisados no escopo da presente metodologia, uma análise sobre seus erros residuais será conduzida a partir do gráfico de erro residual em função dos valores de concentração observados. Nesse gráfico o eixo horizontal centrado em $y=0$ será ressaltado, bem como a reta de tendência estimada para o erro residual em função da concentração observada. Quanto maior for a aderência do modelo de interpolação ajustado, mais horizontal será a tendência encontrada entre os erros residuais em função das concentrações. Em outras palavras, quão mais ajustado o modelo for aos dados analisados, menor será a dependência do resíduo em função da concentração dos pontos.

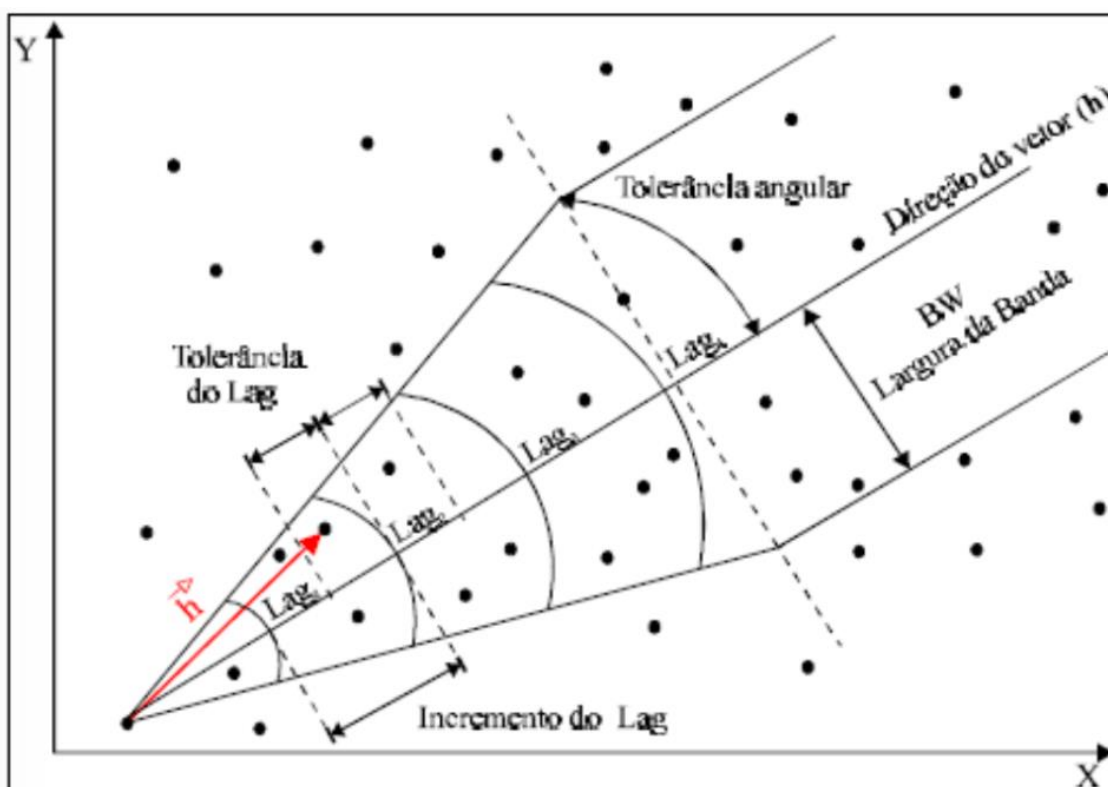
9.3.4.3.5 Análise de dados

Para a análise dos dados presentes em cada macrorregião, são realizados dois tipos de análises, sendo a primeira em escala regional e a segunda em escala local. A principal diferença entre as duas escalas é a diferença do tamanho do *lag*.

Como observado na **Figura 6**, a distância do *lag* influencia no cálculo da semivariância. Para *lags* menores, a semivariância é calculada em função de combinações de amostras mais próximas entre si, o que leva ao cálculo de cada semivariância média com um menor conjunto de pARSHs e, para uma distância máxima fixada de investigação, uma maior quantidade de semivariâncias médias calculadas em comparação com *lags* maiores.

A definição dos tamanhos de *lag* para escala regional e local seguem, respectivamente, a distância média entre pontos vizinhos esperada e distância média observada. Como consequência das definições de *lag*, espera-se que modelos de escala regional apresentem variações mais suavizadas em comparação com modelos de escala local.

Figura 6 – Parâmetros de Cálculo de Semivariograma



Fonte: Adaptado de Kazuo (2013).

A metodologia da Krigagem Ordinária será executada a partir do uso da extensão *Geostatistical Analyst* do software *ArcGIS* ou por algoritmo próprio (programado nas linguagens R e Python). A determinação das análises relacionadas ao índice de Moran é executada a partir do uso de algoritmo próprio (programado nas linguagens R e Python).

Nesses programas, os seguintes passos serão executados nesta ordem:

- (1) Os dados serão importados e as duplicatas serão excluídas por meio do critério de seleção da maior concentração observada no ponto;
- (2) A distribuição de dados será avaliada a partir da construção de histogramas de dados brutos e transformados (transformação logarítmica). A opção de maior simetria será adotada para os passos seguintes;
- (3) O índice de Moran será calculado e validado ou descartado a partir do teste de pseudo-significância;
- (4) Métricas de distância entre pontos serão calculadas. Dentre elas serão elencadas as distâncias máximas e mínimos dentro do conjunto de amostras bem como as

distâncias médias observadas e esperadas (com base em uma malha de pontos regular) entre pontos vizinhos.

- (5) O semivariograma dos dados será modelado com base na modelagem espacial para o modelo de maior aderência aos dados observados;
- (6) O mapa de quantil (95%) será solicitado;
- (7) O mapa de incerteza (*Prediction Standard Error*) será fornecido pelo programa, partindo-se dos mesmos parâmetros utilizados no item (5).

A avaliação de suficiência baseada na espacialidade será realizada com base os seguintes critérios:

- Análise de distribuição de dados brutos e transformados
- Avaliação do índice de Moran e do teste de pseudo-significância, onde se constatará (ou não) a correlação espacial do conjunto total de amostras da região objeto de análise;
- Avaliação do ajuste do semivariograma às semivariâncias médias observadas dos dados observados, onde será verificada novamente se foi identificada (ou não) a correlação espacial do conjunto de amostras da região objeto de análise e será feita avaliação da compatibilidade do IDE com o estimado pelo índice de Moran;
- Avaliação de aderência do semivariograma dos dados ajustados e comparação das distâncias de correlação do semivariograma com as métricas de distância entre pontos vizinhos;
- Avaliação da adequação do modelo de previsão a partir do coeficiente de determinação (R^2) da tendência (valor estimado) em função da concentração observada e análise dos erros residuais encontrados;
- Análise da distribuição de isovalores de concentrações nos mapas de quantis;
- Análise da distribuição de isovalores de concentrações nos mapas de incerteza;
- Análise da distribuição de isovalores da associação de concentrações dos mapas de quantil e incerteza.

Em caso de semivariogramas que não possibilitem a identificação de correlação espacial, ou seja, sem aderência às semivariâncias médias observadas e coeficientes de tendências inferiores aos coeficientes de resíduos, serão consideradas como amostragens insuficientes para os critérios de análise.

9.3.4.4 Condução dos testes de hipótese e análise de valores extremos

Para matrizes sem continuidade espacial será prevista a condução de testes de hipótese comparando a média populacional com o parâmetro de risco definido (C_s). O teste de hipóteses será definido de forma que a hipótese nula considera o local como “contaminado” ($\mu_0 \geq C_s$), ou seja, com concentração média superior ao parâmetro de risco, e a hipótese alternativa considera o local como “não-contaminado” ($\mu_1 < C_s$).

A condução do teste levará em conta os possíveis erros tipo I e tipo II.

O erro tipo I ocorre ao afirmar, a partir da conclusão do teste estatístico, que uma região não está contaminada (em média) quando de fato ela está. O valor adotado nas análises para esse erro (α) será de 5%. O erro tipo II ocorre ao se afirmar que uma região está contaminada (em média) quando de fato ela não está. Uma vez que o erro tipo II é um erro a favor da segurança, ou seja, ao ocorrer é fornecida uma abordagem mais conservadora à avaliação de suficiência, seu valor adotado será menos restritivo que o erro tipo I, com $\beta=20\%$. Dessa forma, especificados os erros toleráveis de ambos os tipos, o teste será conduzido a partir do cálculo do valor crítico (ou de barreira), da média e desvio-padrão amostrais e/ou do p-valor associado.

O valor crítico será calculado a partir do seguinte equacionamento:

$$\overline{x_{crítico}} = C_s - t_{(1-\alpha),df} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Em que

C_s : parâmetro de risco

$t(1-\alpha), df$: é o valor da distribuição t-student avaliada para $(1-\alpha)\%$ de probabilidade com df graus de liberdade (nesse caso, o número de elementos amostrais subtraído da unidade)

S : desvio padrão amostral

n : número de elementos amostrais

Quando a média amostral é menor que o valor crítico (ou p-valor < 0.05) a hipótese nula é rejeitada, ou seja, pode-se afirmar que a concentração média populacional está abaixo do parâmetro de risco (C_s) ao nível de 5% de significância. A rejeição do teste implicará em controle do erro tipo I, que como já visto, é de maior preocupação.

Quando a média amostral é maior que o valor crítico (ou $p\text{-valor} > 0.05$), a hipótese nula não é rejeitada, ou seja, não se pode afirmar que a concentração média populacional esteja abaixo de C_s . Para esse caso faz-se necessária a verificação do controle do erro tipo II. O documento USEPA (2000) indica uma maneira analítica de verificar esse controle por meio do cálculo da estatística “m”, a partir do desvio padrão amostral (S), dos erros tipo I e tipo II adotados e de um valor de concentração médio de uma população não-exposta (μ_1).

$$m = \frac{S^2(Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta})^2}{(C_s - \mu_1)^2} + 0.5(Z_{1-\alpha})^2$$

Se o número de pontos coletados (n) for maior que “m” o erro tipo II é controlado. Caso contrário, o resultado do teste não poderá ser avaliado, uma vez que o número de elementos coletado é insuficiente (USEPA, 2000). Nesses casos, amostras complementares serão necessárias para avaliação dos resultados do teste de hipótese.

Após a realização do teste de hipótese mencionado, uma análise de valores extremos será conduzida. Em casos de testes “não-rejeitados” e sem controle do erro tipo II, tal análise servirá para “discriminar” os dados em um conjunto considerado “normal” e outro com as maiores concentrações observadas e possibilitar a reavaliação do teste de hipótese para cada classificação.

A fim de possibilitar o uso de “testes de outliers”, a normalidade dos dados será testada. Gráficos do tipo QQPlot serão gerados “com” e “sem” discriminação de outliers, definidos inicialmente a partir do critério da distância interquartilica ($1,5 \cdot DIQ$, DIQ: Distância Interquartil) de TUCKER (1977). Nesse momento, o limite superior de outlier via definição de TUCKER (denominado nas análises como LS) associado ao valor de C_s do analito e a análise baseada em julgamento profissional possibilitarão a definição de outliers a serem discriminados e tratados separadamente. A normalidade dos dados será testada com o Teste de normalidade de SHAPIRO-WILK (1965) em ambas as configurações: “sem” e “com” exclusão de valores anômalos, assumindo significância de 5%. Em caso de “não rejeição” do teste de normalidade ($p\text{-valor} > 0.05$), ou seja, assumindo distribuição normal dos dados, a necessidade de testes de outlier será verificada. A escolha do teste de outlier dependerá das condições de normalidade, outliers múltiplos e tamanho da amostra (USEPA, 2000).

Quando conveniente, o conjunto de valores anômalos discriminado poderá ser avaliado por meio de gráfico QQPlot individual associado ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Após a discriminação dos valores nas duas classificações (conjunto denominado “normal” e outliers) uma avaliação da espacialidade das concentrações será realizada a partir da elaboração de mapas geográficos com identificação dos conjuntos dentro da região avaliada.

9.3.5 Conclusões da Avaliação de Suficiência e Representatividade

A partir Avaliação e Validação dos Dados Ambientais, será obtido um conjunto de dados compilados, que serão utilizados para caracterização dos compartimentos do meio físico e ambientais.

Neste contexto, serão avaliadas as seguintes questões:

- a) Se existem dados disponíveis para todas as matrizes ambientais que fazem parte dos modelos conceituais de cada Área Alvo;
- b) Se, dentro dos limites da Área Alvo, existem dados disponíveis para áreas consideradas impactadas pelo rompimento da Barragem B-I e também para áreas consideradas não impactadas pelo rompimento;
- c) Se, dentro dos limites da Área Alvo, existem dados disponíveis que representam níveis de concentrações basais para a Área Alvo;
- d) Se os dados disponíveis são adequados para a utilização em estudos de avaliação de risco à saúde humana;
- e) Se os dados disponíveis são suficientes em termos de representatividade para cada matriz ambiental que faz parte dos modelos conceituais de cada Área Alvo. A suficiência de dados será analisada conforme a avaliação de representatividade estatística e geoestatística.

10 AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA (MEIO AMBIENTE)

A ARSH tem por objetivo caracterizar os riscos saúde humana relacionados à potencial exposição às substâncias químicas de interesse identificadas em uma Área Alvo (AA_{MA}) em estudo e, a partir dessa caracterização, auxiliar a tomada de decisão quanto à necessidade de implementação de medidas de intervenção para reabilitação do meio ambiente e monitoramento ambiental. Os riscos a serem caracterizados na ARSH são aqueles relacionados à potencial exposição seres humanos às Substâncias Químicas de Interesse (SQI) associadas ao rompimento da barragem B-I.

Serão quantificados apenas os riscos associados às substâncias químicas de interesse que estiveram localizadas em pontos de amostragem em Unidades de Exposição do tipo RED (Região de Exposição Direta) e REI (Região de Exposição Indireta). Este procedimento garante que sejam quantificados os riscos para concentrações obtidas em pontos de amostragem dentro de uma área impacta, ou seja, fora da região de *background*. Sendo assim, não serão calculados riscos à saúde humana para a RNE (Região de Não Exposição) associado aos níveis basais locais (*background*), entretanto, sempre que esta situação ocorrer constará um item no relatório de Avaliação de Risco indicando a necessidade que este cálculo seja feito por força das metodologias utilizadas como base dos estudos de ARSH e pela responsabilidade profissional que cai sobre a equipe técnica que desenvolverá a etapa de avaliação dos riscos.

Os riscos a serem caracterizados são aqueles relacionados à potencial exposição às substâncias químicas de interesse identificadas na *Compilação e Análise de Dados* e no *Plano de Investigação para Meio Ambiente*, tendo como foco os receptores humanos identificados nas comunidades potencialmente expostas ao rejeito associado ao rompimento da barragem B-I.

Para quantificação do risco à saúde humana pela metodologia RAGS (US.EPA, 1997) foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo específica para o caso de rompimento da barragem B-I, a qual prevê:

- Cálculo de todas as possibilidades de rotas/cenários de exposição possíveis de serem válidos para a Bacia do Paraopeba;
- Cálculo de Risco Cumulativo por *endpoint* (órgãos expostos);
- Cálculo de Risco por concentrações máximas nos pontos de exposição;
- Cálculo de Risco por concentrações UCL95% para compartimentos do meio físico e compartimentos ambientais;
- Cálculo de Doses de Exposição a partir de Análise de Montecarlo;
- Cálculo do risco e de metas de reabilitação com base toxicológica e físico-química atualizada a partir dos bancos de dados toxicológicos da ATSDR e USEPA;

- Utilização das equações para o cálculo da Dose de Exposição e do Risco previstas na ATSDR (ATSDR, 2005), RAGS (USEPA, 1989a) e Exposure fator Handbook (USEPA, 2000);

Caso necessário, somente para o estudo de avaliação de risco desenvolvido com o RAGS *Human Health* (US.EPA, 1989a), em função dos modelos conceituais de cada área alvo e os resultados da investigação ambiental, fatores de atenuação natural obtidos de modelos de transporte ambiental poderão ser utilizados na quantificação de risco.

A identificação de risco considerando os Padrões Legais Aplicáveis será executada para proporcionar a identificação dos riscos potenciais associados a SQIs por compartimento do meio físico quando esta apresentarem concentrações superiores aos padrões legais aplicáveis. A Identificação de Risco considerando Padrões Legais Aplicáveis relativa à ingestão das águas subterrâneas deverá ser realizada utilizando os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde na Portaria de Consolidação nº 05, de 28/09/2017, no seu Anexo XX e atualizações. A existência de risco para ingestão de águas subterrâneas será confirmada quando for constatado que a concentração das substâncias químicas de interesse, nas amostras coletadas em poços e nascentes de captação de água para abastecimento, ultrapassam o padrão de potabilidade (CETESB, 2009). No caso de poços de monitoramento, estes somente entraram na análise descrita acima quando estes estiverem instalados em aquífero destinado ao consumo humano. Os resultados dessas avaliações deverão ser apresentados por meio de:

- a) Texto explicativo, plantas e seções, indicando a posição dos receptores (corpos d'água superficiais, poços de abastecimento de água e nascentes) e pontos de conformidade, além da distribuição das concentrações de cada substância química de interesse;
- b) Mapas de risco com a indicação dos receptores;
- c) Conclusão sobre a necessidade de implementação de medidas de intervenção.

10.1 COMPILAÇÃO, ANÁLISE E VALIDAÇÃO DE DADOS

Esta etapa foi desenvolvida utilizando o capítulo 5 *Data Evaluation do RAGS Human Health* (US.EPA, 1989a) e capítulo 3 *Baseline Risk Assessment Problem Formulation do RAGS Ecological Risk* (US.EPA, 1997).

A etapa de *Compilação Análise e Validação de Dados* será realizada utilizando dados secundários, de modo a identificar rotas de exposição aplicáveis aos estudos de ARSH. As informações levantadas por essa etapa serão utilizadas para a definição do Modelo Conceitual da Área (MCA_{MA}). Também nesta etapa, após o desenvolvimento do MCA_{MA} será realizada a

Validação de Dados Primários gerados a partir da execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*.

Todas as informações serão avaliadas segundo a sua fidedignidade, considerando as fontes de informação utilizadas, metodologia e validade estatística (desenvolvida por especialistas em estatística).

A etapa de Compilação, Análise e Validação de Dados será dividida em:

- Compilação e Análise de Dados;
- Validação de Dados Secundários;
- Desenvolvimento do Modelo Conceitual da Área (MCA_{MA});
- Dimensionamento e Execução Plano de Investigação para Meio Ambiente.

10.1.1 Compilação e Análise de Dados Secundários

A *Compilação e Análise de Dados Secundários* será desenvolvida considerando os seguintes grupos de dados secundários:

- Caracterização da Área de Interesse para o Estudo;
- Uso e Ocupação do Solo;
- Impacto e Alterações Ambientais;
- Compartimentos do Meio Físico;

10.1.1.1 Caracterização da Área de Interesse para o Estudo

Consiste no levantamento detalhado do histórico da região na qual está contida a AA_{MA}, dados geográficos, informações sobre a organização político-administrativa, a descrição da região impactada, incluindo os aspectos das atividades desenvolvidas no local, históricos e procedimentos reguladores. Dentre os principais grupos de informações que serão levantadas estão:

- Histórico da região impactada;
- Dados geográficos;
- Organização político-administrativa;
- Descrição da região impactada;
- Revisão dos dados ambientais disponíveis;
- Definição da necessidade de dados de níveis de concentrações basais.

10.1.1.2 Uso do Solo e Ocupação socioeconômica

Consiste no levantamento detalhado do uso e ocupação do solo na Área Alvo a ser avaliada, contemplando todas as características que possam tipificar as populações potencialmente expostas presentes na região na qual está contida a AA_{MA}.

Dentre os principais grupos de informações que serão levantadas estão:

- Tipo de ocupação (residencial urbana ou rural, comercial, industrial, agrícola extensiva ou de subsistência, pecuária, pesca, área de preservação permanente, recreação, entre outros);
- Densidade da ocupação;
- Extensão da ocupação;
- Populações específicas como populações indígenas, quilombolas, entre outras;
- Receptores ambientais (ex.: rios, córregos) e humanos (ex.: hospitais, creches) sensíveis;
- Dinâmica de uso como tipo de atividade agrícola (ex.: cacaueteira, cana de açúcar, café), tipo de indústrias identificadas, entre outras.

Será realizada caracterização detalhada das populações potencialmente expostas na AA_{MA} em estudo e das suas imediações. O objetivo será a determinação do tamanho e as características das populações que tem maiores probabilidades de no passado, no presente e, ainda, no futuro, estarem expostas aos contaminantes associados ao rompimento da barragem B-I.

Dentre os principais grupos de informações que serão levantadas estão:

- Identificação preliminar dos pontos de exposição;
- Identificação preliminar dos receptores humanos;
- Identificação preliminar dos cenários de exposição.

Neste momento também serão levantados dados secundários demográficos que servirão de base para a caracterização destas populações, os quais serão obtidos em estudos acadêmicos, estudos de impacto ambiental (EIA/RIMA), dados disponíveis em prefeituras municipais, órgãos de saúde municipais, estaduais e federais, órgãos ambientais estaduais, IBAMA, IBGE, entre outros.

10.1.1.3 Impacto e Alterações Ambientais

Consiste no levantamento detalhado das substâncias químicas e suas concentrações identificadas em cada compartimento de interesse do meio físico e ambiental da AA_{MA} em estudo.

Serão considerados resultados analíticos de estudos anteriores disponíveis e estudos atuais desenvolvidos para o acompanhamento, diagnóstico e monitoramento da região impactada pelo rompimento da barragem B-I. As seguintes fontes de dados ambientais serão utilizadas:

- Estudo de Caracterização Geoquímica de Rejeitos;
- Estudos de Dispersão atmosféricas de particulados;
- Estudos Hidrológicos e Hidrosedimentológicos;
- Estudos Hidrogeológicos;
- Planos de Manejo de Rejeitos;
- Programas de Monitoramento e estudos de caracterização ambiental executados para acompanhamento da qualidade ambiental da região atingida;
- Dados de monitoramento de órgãos regulatórios (ex.: IGAM, FEAM, IEMA);
- Dados coletados por especialistas do Ministério Público relacionados ao rompimento da barragem B-I;
- Trabalhos acadêmicos e artigos científicos (ex.: Universidades, Órgãos de Pesquisa);
- Outros relatórios técnicos e estudos publicados.

10.1.1.4 Compartimentos do Meio Físico

Consiste, inicialmente, na análise dos dados e informações disponíveis, em projetos técnicos, mapas, trabalhos acadêmicos, bancos de dados, entre outras fontes, que tenham sido desenvolvidos para a região na qual está contida a AA_{MA} região na qual está contida a AA_{MA}. Dentre os principais grupos de informações que serão levantadas estão:

- Morfologia
- Geologia;
- Geoquímica;
- Hidrogeologia;
- Hidrogeoquímica;
- Hidrologia;
- Hidrosedimentologia;

- Hidroquímica;
- Pedologia.

10.1.2 Validação de Dados Secundários

A validação de dados secundários obtidos na etapa anterior será realizada pela aplicação da metodologia descrita na seção 9 (*Avaliação e Validação de Dados Ambientais*).

Ao final da *Validação de Dados Secundários* será realizada visita técnica a Área Alvo com o intuito de georreferenciar e buscar informações sobre os acessos aos locais com alteração ambiental, populações sob risco, atividades rurais e indústrias, existência de comércio, hospitais, creches, escolas, sendo está uma descrição visual detalhada preliminar da AA_{MA} em estudo.

10.1.3 Modelo Conceitual da Área

O Modelo Conceitual para Saúde Humana (MCA_{MA}) será desenvolvido conforme especificado nos itens de 6.1 a 6.3 do RAGS *Human Health* (USEPA, 1989a).

O modelo MCA_{MA} documentará todas as informações relativas aos potenciais receptores humanos identificados na AA_{MA} em estudo, os quais podem estar em contato com as substâncias químicas de interesse (SQI) associadas ao rejeito originado pelo rompimento da barragem B-I.

Em projetos de Avaliação de Risco à Saúde Humana o desenvolvimento de modelos conceituais de exposição é fundamental para definir os cenários de exposição que venham a ocorrer na área em estudo, bem como definir claramente as fontes secundárias de contaminação, compartimentos de interesse no meio físico, substâncias químicas de interesse, rotas de exposição, vias de ingresso e receptores ambientais.

Os elementos que comporão as rotas de exposição validas do MCA_{MA} são apresentados a seguir:

- Fonte secundária de contaminação: seguindo a Seção 6.1.1 e 6.3.1 do RAGS ARSH (USEPA, 1989a);
- Substâncias químicas de interesse (SQI): seguindo a Seção "Seleção de Substâncias Químicas de Interesse";
- Caminho de exposição seguindo: a Seção 6.1.1 e 6.3.4 do RAGS ARSH (USEPA, 1989a);

- Receptores potenciais: seguindo a Seção 6.1.1, 6.1.2 e 6.3.4 do RAGS ARSH (USEPA, 1989a);
- Ponto de exposição (PDE): seguindo a Seção 6.1.1 e 6.3.3 do RAGS ARSH (USEPA, 1989a);
- Via de ingresso: seguindo a Seção 6.1.1 e 6.3.4 do RAGS ARSH (USEPA, 1989a).

No caso de exposições que envolvam cenários associados a via de ingresso contato dérmico será considerado adicionalmente o “*Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA/540/R/99/005). PART E. Dermal Risk Assessment*”.

As rotas de exposição que comporão o MCA_{MA} caracterizam-se por ser o caminho percorrido por uma Substância Química de Interesse (SQI) a partir da fonte de contaminação até entrar em contato com o ser humano, sendo esta composta por cinco elementos:

- [1] Fonte de contaminação: Será definida como fonte de contaminação primária o rompimento da barragem B-I, e fonte de contaminação secundária os compartimentos do meio físico (solo superficial e subsuperficial, água superficial e subterrânea, sedimento, poeira domiciliar) e ambientais (alimentos vegetais, alimentos animais, biota), ambos caracterizados no ponto de exposição (PDE).
- [2] Compartimento de interesse: Serão solo superficial e subsuperficial, água superficial e subterrânea, sedimento e poeira domiciliar (compartimentos do meio físico) e, alimentos vegetais, alimentos animais e biota (compartimentos ambientais);
- [3] Ponto de exposição (PDE): Será considerado como PDE o local onde pode ocorrer ou ocorre o contato humano com o compartimento do meio físico ou ambiental contaminado pelo evento de rompimento da barragem B-I (residências, local de trabalho, parque desportivo, jardim, curso ou corpo de água, manancial, poço de água subterrânea ou áreas destinadas para agricultura e pecuária).
- [4] Via de exposição (vias de ingresso): Serão consideradas como vias de ingresso a ingestão (solo superficial, sedimento, poeira domiciliar, água subterrânea, água superficial, alimentos vegetais e animais), inalação (solo superficial e sedimento superficial) e contato dérmico (água subterrânea, água superficial, solo superficial e sedimento superficial).
- [5] População receptora (receptor): Serão consideradas como populações expostas ou potencialmente expostas os residentes rurais e urbanos, trabalhadores rurais e urbanos, trabalhadores de obras civis, trabalhadores e residentes eventuais, praticantes de atividades recreacionais e praticantes de pesca (esportiva, para consumo próprio ou para venda). A população receptora será definida com a maior

precisão possível. Cada Área Alvo será considerada como única e individual, com o objetivo de se determinar as características distintas que poderiam aumentar ou retardar a frequência e magnitude da exposição humana, sendo que serão observados os seguintes fatores: idade da população, condições climáticas, acessibilidade à área de estudo, usos do solo e dos recursos naturais. Também será realizada a estimativa do tamanho das populações receptoras expostas ou potencialmente expostas a cada uma das rotas de exposição identificada para a Área Alvo.

Será considerado que uma rota de exposição será válida quando esta sempre for composta pelos cinco elementos listados acima.

10.1.4 Plano de Investigação para Meio Ambiente

O *Plano de Investigação para Meio Ambiente* será desenvolvido com base na etapa de *Compilação, Avaliação e Validação de Dados Secundários* e será complementar a representatividade do conjunto de dados disponíveis para a Área Alvo, considerando as necessidades de representatividade de cada compartimento do meio físico e ambiental indicadas pela etapa de *Avaliação de Suficiência e Representatividade*. A seleção dos pontos de coleta de amostras para cada compartimento terá como base a avaliação estatística e geoestatística de representatividade.

Todos os dados secundários gerados em estudos anteriores, consolidados na etapa de *Compilação Análise e Validação*, serão utilizados após processo de validação para definição da representatividade estatística e geoestatística. Os dados considerados válidos serão utilizados para o dimensionamento do *Plano de Investigação Detalhada para Meio Ambiente*.

O *Plano de Investigação Detalhada para Meio Ambiente* poderá prever, com base no MCA_{MA}, testes de bioacumulação, biodisponibilidade e especiação para determinadas Substâncias Químicas Interesse (SQI). As amostras coletadas para execução dos testes supramencionados ficarão armazenadas adequadamente no laboratório aguardando os resultados analíticos laboratoriais. Somente para os pontos amostrados que apresentaram concentrações acima do Padrões Legais Aplicáveis serão executados os testes supramencionados.

Os pontos de coleta de amostras selecionados para a complementação do conjunto de dados serão identificados com nomenclatura única, em mapas, com as respectivas coordenadas geográficas, e outras informações georreferenciadas.

10.1.4.1 Dimensionamento

O *Plano de Investigação para Meio Ambiente* será desenvolvido utilizando os seguintes critérios básicos:

1. Definição do primeiro grupo de pontos de amostragem definidos com base nos dados secundários obtidos da etapa de *Compilação, Avaliação e Validação de Dados Secundários*, tendo como objetivo estabelecer uma malha amostral representativa de toda a Área Alvo;
2. Definição do segundo grupo de pontos de amostragem com objetivo avaliar pontos de exposição (PDE) específicos identificados no MCA_{MA}.

A definição da estratégia de aquisição de dados para avaliação de risco quantitativa seguirá a metodologia RAGS *Human Health* (US.EPA, 1989a). A definição da localização e quantidade de pontos será consistente e garantir a redução das incertezas associadas à avaliação do risco, redução de prazos de projeto, geração de menor impacto para às comunidades potencialmente impactadas, e ser suficiente para o seu propósito.

Neste contexto, métodos estatísticos e geoestatísticos para definição do número mínimo de amostras a serem coletadas e sua distribuição espacial deverão considerados conforme descrito na seção 9.3, visando a definição de planos de amostragens que garantam a suficiência de dados para todos os compartimentos do meio físico e ambientais de interesse para a ARSH. O item supramencionado foi desenvolvido com base nos documentos: “*Methods for Evaluating Attainment of Cleanup Standards for Soils and Solid Media*” (US.EPA, 1989c); “*Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*” (US.EPA, 2006).

Todos os dados secundários gerados em estudos anteriores serão utilizados após processo de validação para definição da representatividade estatística e geoestatística. Os dados considerados válidos serão utilizados para o dimensionamento do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*, e poderão ser utilizados em estudos ARSH.

Neste contexto, para execução adequada da aquisição de dados ambientais, o *Plano de Investigação Detalhada para Meio Ambiente* terá o seguinte conteúdo mínimo e obrigatório:

1. Introdução e Justificativas;
2. Objetivos;
3. Caracterização da Área Alvo;
4. Avaliação de Suficiência Estatística para Dimensionamento da Malha Amostral;
5. Plano de Amostragem para Saúde Humana;
6. Metodologia de Amostragem por Compartimento do Meio Físico;

7. Metodologia de Amostragem por Compartimento Ambiental;
8. Procedimentos de Controle e Garantia da Qualidade Durante Amostragem;
9. Controle de Garantia da Qualidade Laboratorial;
10. Limitações e Exceções;
11. Conclusões e Recomendações;
12. Cronograma de Execução;
13. Referências Bibliográficas.

10.1.4.1.1 Avaliação de Suficiência Estatística para Dimensionamento da Malha Amostral

Como indicado no documento *Guidance for Data Useability in Risk Assessment* (Part A) desenvolvido pela USEPA em 1991, o cálculo do número de pontos para elaboração de plano de amostragem depende da variabilidade esperada para a matriz analisada bem como dos objetivos de performance estatísticos esperados. A fórmula indicada no Apêndice 01, no qual é detalhada a metodologia de estatística e geoestatística dos estudos de ARSH, é descrita da seguinte maneira:

$$n \geq \left[\frac{(Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta})^2}{D^2} + 0.5 \cdot \frac{(Z_{1-\alpha})^2}{D^2} \right]$$

Para cálculo do número mínimo de amostras necessárias tem-se:

$$n = \left\lceil \frac{(Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta})^2}{D^2} + 0.5 \cdot \frac{(Z_{1-\alpha})^2}{D^2} \right\rceil$$

Em que:

n = número de pontos necessário

$Z_{1-\alpha}$, $Z_{1-\beta}$ = valores da distribuição normal padrão para os erros “falso positivo” e “falso negativo”, respectivamente. O erro “falso positivo” ocorre ao afirmar, a partir de teste estatístico, que uma região não está contaminada quando de fato ela está. O valor adotado nas análises para esse erro (α) é 5%. O erro “falso negativo” ocorre ao se afirmar que uma região está contaminada quando de fato ela não está. Uma vez que esse tipo de erro para as análises considerando avaliação de risco é um erro a favor da segurança, ou seja, ao ocorrer é fornecida uma abordagem mais conservadora seu valor adotado é de β 20%.

D = quociente entre a resolução de detecção (ou diferença relativa detectável mínima) especificada, simbolizada por Δ , e o coeficiente de variação da esperado para a matriz (CV). Dessa forma, $D = \Delta / CV$

A resolução de detecção (Δ) decorre da subtração do limite regulatório/valor de intervenção/padrão legal aplicável (C_s , do inglês “Cleanup Standard”) do analito analisado pela média representativa de uma população não-exposta (μ_1), expresso em porcentagem.

O documento USEPA (1991) também indica que a variabilidade dos resultados varia em função da matriz analisada e, nesse caso, se a variabilidade natural dos analitos químicos de interesse for grande ($CV > 30\%$), um esforço de planejamento deve ser realizado no sentido de aumentar o número de amostras.

A partir do coeficiente de variação e dos objetivos de performance estatística especificados para o plano de amostragem proposto, o número mínimo de amostras resultante é calculado.

10.1.4.1.2 Plano de amostragem

O plano de amostragem, parte integrante do *Plano de Investigação Detalhada para Meio Ambiente*, consiste na definição de uma malha de amostragem sistemática por compartimento do meio físico e ambiental (do inglês “*Systematic/Grid Sampling*”).

Como indicado no documento “*Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection*”, elaborado pela USEPA em 2002, a malha de pontos sistemática fornece cobertura mais completa que amostragem aleatória simples. De acordo com o documento, esse tipo de plano de amostragem é eficiente quando se deseja fazer inferências acerca de parâmetros populacionais (como, por exemplo, a média) associado à identificação de *hot spots* e probabilidade de “não-detecção” destes (a partir da definição de uma malha regular). A geometria triangular da malha de amostragem é adotada, uma vez que apresenta maior eficiência de cobertura em contornos irregulares quando comparada à outras geometrias regulares.

O programa utilizado para geração dos pontos de amostragem é o *Visual Sample Plan* (VSP), desenvolvido pelo *Department of Energy* do *Pacific Northwest National Laboratory* of U.S.. A metodologia para escolha dos parâmetros de entrada no programa, hipóteses acerca da normalidade da distribuição da média das concentrações, amostragem ordinária e geometria triangular para o “grid” gerado são apresentados no Apêndice 01.

10.1.4.2 Execução

Após o dimensionamento do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*, serão realizadas expedições de campo visando sua execução com objetivo de formar a base de dados ambientais primários relativos à AA_{MA} em estudo, que somados aos dados secundários válidos obtidos na etapa de *Compilação, Avaliação e Validação de Dados*, formarão a base de dados que será utilizada para qualificação e quantificação do risco a saúde humana.

Para execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*, serão definidas a Região de Exposição Direta (RED), Região de Exposição Indireta (REI) e Região de Não Exposição (RNE), conforme conceituado abaixo:

- Região de Exposição Direta (RED): região definida pelo limite físico da ocorrência da lama de rejeitos associada ao rompimento da Barragem B-I e que foi depositada no leito e nas margens dos cursos d'água, imediatamente após o rompimento ou em eventos de inundação posteriores. Dentre as áreas típicas que caracterizam a LC, citam-se a título de exemplo: i) leitos (calhas), planícies aluviais recentes e terraços mais antigos dos cursos d'água ao longo dos quais ocorreu a passagem ou a deposição da lama de rejeito após a ruptura; ii) planícies aluviais invadidas pela onda de cheia decorrente do fluxo da lama de rejeito; iii) reservatórios associados às UHE existentes no rio Paraopeba, açudes ou reservatórios em áreas rurais ou urbanas, lagoas naturais marginais aos cursos d'água e outros tipos de corpos d'água afetados seja pela passagem ou deposição da lama de rejeitos; e iv) áreas urbanas ou rurais que tenham sido afetadas pela passagem ou pela deposição da lama de rejeito; v) poço ou conjunto de poços (escavados ou tubulares) e respectivos aquíferos de onde as águas subterrâneas eram ou são captadas, os quais tenham sido afetados pela passagem ou deposição da lama de rejeitos.
- Região de Exposição Indireta (REI): região adjacente às áreas de deposição da lama de rejeitos, que pode ser influenciada indiretamente por estas devido a mecanismos de transporte físico (inundação de terrenos adjacentes aos rios impactados, dispersão atmosférica da lama exposta etc.) e químico (migração de contaminantes da RED em direção à região adjacente, através de processos de percolação, lixiviação, solubilização, advecção, difusão, dispersão, dentre outros). Dentre as áreas típicas que caracterizam a REI, citam-se, a título de exemplo: i) leitos (calhas), planícies aluviais recentes e terraços mais antigos de trechos dos cursos d'água ou de tributários que não tenham sido afetados diretamente, que sejam adjacentes à RED e que podem sofrer (ou ter sofrido) influência indireta em razão de processos de dispersão atmosférica ou de inundação(ões) decorrente(s) do período chuvoso ocorrido no um ano após o rompimento da barragem B I; e ii) quaisquer terrenos (áreas urbanas, comunidades rurais, áreas de plantio ou de pecuária, ecossistemas específicos etc.) adjacentes à RED e que foram (ou possam ser) afetados indiretamente pela dispersão atmosférica ou pela(s) cheia(s) decorrente(s) de períodos chuvosos.
- Região de Não Exposição (RNE): Área de Controle localizada dentro da Área Alvo em estudo que não possui influência direta ou indireta da deposição da lama de

rejeitos decorrente do rompimento da barragem B-I, e que tenha características fisiográficas e de uso e ocupação similares àsquelas da REI e/ou da RED a ela adjacentes. A RNE é caracterizada por ser a região de ocorrência dos níveis de base regionais (*background*).

O *Plano de Investigação para Meio Ambiente* avaliará, a depender das características de cada AA_{MA}, o sedimento (superficial e subsuperficial), solo (superficial e subsuperficial), poeira domiciliar, água (subterrânea e superficial), água para consumo humano, alimentos de origem animal (leite, ovos, peixes, outros organismos aquáticos, carne bovina, suína e aves) e alimentos de origem vegetal (folíáceas, tuberosas e frutas).

A execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente* será acompanhada por representantes das Secretarias Estaduais e Municipais de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais. É mandatória a disponibilização diária de Diários de Campo (devidamente assinadas) desenvolvidos pela equipe de amostragem, de fotos e vídeos realizados durante o processo de amostragem, bem como cadeias de custódias das amostras em cada etapa do estudo. O Plano prevê a elaboração de relatório fotográfico, que documente e evidencie a aplicação de todos os procedimentos definidos no Plano.

10.1.4.2.1 Metodologias para Aquisição dos Dados Ambientais para Meio Ambiente

A tarefa *Metodologias para Aquisição dos Dados Ambientais para Meio Ambiente* cumpre o disposto no *RAGS Human Health* (US.EPA, 1989a) no que diz respeito a avaliação de técnicas de amostragem.

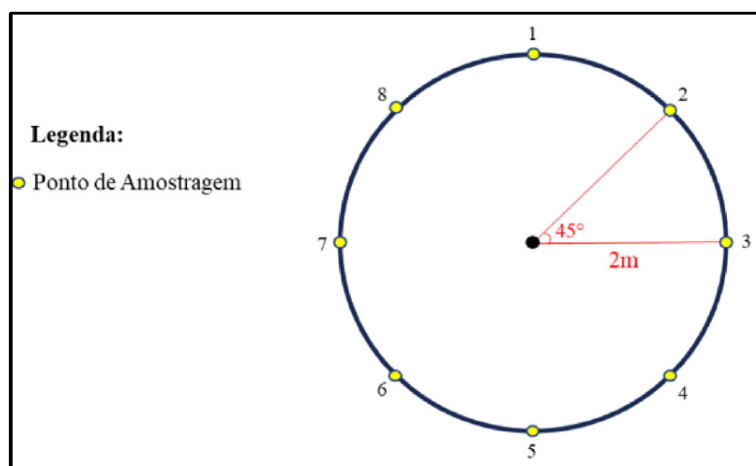
O *Plano de Investigação para Meio Ambiente* deverá contemplar métodos padronizados nacionalmente e internacionalmente para coleta de amostras de compartimentos do meio físico e ambientais, conforme descrito a seguir:

SOLO SUPERFICIAL

A sondagem será executada de acordo com ABNT NBR 15.492:2015 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – procedimento, a partir da cravação total de tubo de PVC (1,5”) descartável de 8 a 10 cm de comprimento solo superficial em sentido vertical. A parte superior do tubo enterrado, faceando a superfície do superficial, é, então, fechada com *caps* plástico de pvc (1,5”).

As amostras de solo superficial serão compostas por oito amostras coletadas conforme descrito acima e quarteadas, a partir de o círculo previamente definido em um ponto de amostragem, e não será obtida em uma profundidade maior que 10 centímetros da superfície do terreno, conforme **Figura 7**.

Figura 7 – Amostragem de solo superficial



O material perfurado será descrito em toda a extensão perfurada, de acordo com o Anexo A (normativo) – Litografia do Perfil de Sondagem da ABNT NBR 15.492:2007 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - procedimento.

Após a retirada da amostra coletada em recipiente plástico descartável (liner), deve ser usada uma ferramenta de corte para a confecção de uma abertura longitudinal no mesmo que permita identificar visualmente qual(is) a(s) porção(ões) do liner é mais apropriada(s) para a coleta de amostras de solo para envio para análises químicas de interesse (NBR 16434:2015).

SOLO SUBSUPERFICIAL

A sondagem deverá ser executada de acordo com ABNT NBR 15.492:2015 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – procedimento.

O material perfurado deverá ser descrito em toda a extensão perfurada, de acordo com o Anexo A (normativo) – Litografia do Perfil de Sondagem da ABNT NBR 15.492:2007 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - procedimento.

A sondagem deverá ser locada no centro do círculo definido para aquisição da amostra de solo superficial (mas não serão obtidas amostras de solo superficial na sondagem a ser realizada para solo subsuperficial). A amostragem deverá ocorrer a partir da superfície do terreno, sendo que a primeira amostra será sempre coletada a 20 centímetros da superfície do terreno. /as demais amostras ao longo do perfil serão coletadas de forma estratificada sendo que sempre que ocorrer uma variação textural que seja identificada visualmente e significar uma mudança de extrato do solo ou da lama de rejeitos (quando ocorrer), será coletada uma amostra para análise química laboratorial e uma amostra para ensaios de granulometria. No caso da ocorrência de lama de rejeitos no ponto de sondagem, esta deverá seguir até profundidade maior

que a base da ocorrência da lama, sendo necessário a amostragem em todo o perfil de sondagem.

Após a retirada da amostra coletada em recipiente plástico descartável (*liner*), deve ser usada uma ferramenta de corte para a confecção de uma abertura longitudinal no mesmo que permita identificar visualmente qual(is) a(s) porção(ões) do *liner* é mais apropriada(s) para a coleta de amostras de solo para envio para análises químicas de interesse (NBR 16434:2015).

SEDIMENTO SUPERFICIAL

Preferencialmente, a coleta de sedimentos deverá ser realizada nas margens dos rios conforme descrito no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas (2011). Caso dados sobre descarga sólida estiverem disponíveis para a Bacia do Rio Paraopeba, estes também serão considerados para interpretação da dinâmica de hidrosedimentação de sedimentos.

Nos pontos selecionados com base no critério descrito acima, tubos de PVC (1,5”) descartáveis de 5 cm de comprimento serão totalmente enterrados no sedimento superficial em sentido vertical. A parte superior do tubo enterrado, faceando a superfície do sedimento, é, então, fechada com *caps* plástico de PVC (1,5”).

As amostras de solo superficial deverão ser compostas por oito amostras coletadas conforme descrito acima e quarteadas, a partir do círculo previamente definido em um ponto de amostragem, e não deverá ser obtida em uma profundidade maior que 10 centímetros da superfície do terreno.

SEDIMENTO SUBSUPERFICIAL

Preferencialmente a coleta de sedimentos deverá ser realizada nas margens dos rios conforme descrito no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas (2011).

A sondagem deverá ser locada no centro do círculo definido para aquisição da amostra de sedimento superficial. A amostragem deverá ocorrer a partir da superfície do terreno sendo que sempre que ocorrer uma variação textural que seja identificada visualmente e signifique uma mudança de extrato do sedimento ou da lama de rejeitos (quando ocorrer), será coletada uma amostra para análise química laboratorial e ensaios granulométricos. No caso da ocorrência de lama de rejeitos no ponto de sondagem, esta deverá seguir até profundidade maior que a base da ocorrência da lama, sendo necessária a amostragem em todo o perfil de sondagem.

Após a retirada da amostra coletada em recipiente plástico descartável (*liner*), deve ser usada uma ferramenta de corte para a confecção de uma abertura longitudinal no mesmo que

permita identificar visualmente qual(is) a(s) porção(ões) do *liner* é mais apropriada(s) para a coleta de amostras de solo para envio para análises químicas de interesse (NBR 16434:2015).

O material perfurado deverá ser descrito em toda a extensão perfurada, de acordo com o Anexo A (normativo) – Litografia do Perfil de Sondagem da ABNT NBR 15.492:2007 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - procedimento.

ÁGUA SUBTERRÂNEA

Amostragem de água subterrânea deverá ser realizada por baixa vazão, seguindo diretrizes da norma ABNT NBR 15847:2010 - Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de purga, de 21 de julho de 2010, e para complementação do procedimento poderá ser usada a Norma ASTM D 6634-01.

ÁGUA DE ABASTECIMENTO

A coleta de amostras de água para consumo humano será realizada em residências das localidades de interesse para o estudo. Deverão ser utilizados os procedimentos descritos no “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras” da ANA (2011), que estão alinhados com a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (MS, 2016).

Nos pontos de coleta deverão ser coletadas amostras em quantidade de 500 mililitros diretamente para frasco de vidro âmbar, previamente esterilizados, fechadas com tampas rosqueadas de poliestireno revestidas com Teflon®, sem deixar espaços vazios.

É importante fixar o ponto de amostragem em locais que não possuam interferências relacionadas a manutenção, idade e limpeza da tubulação e caixas d’água particulares, o que pode introduzir um falso positivo e alterar os resultados analíticos. Estes pontos podem ser antes das caixas d’água das residências, antes da tubulação interna da residência, na tubulação externa que leva a água de consumo para a residência, na nascente onde ocorre a captação de água para consumo, ou em outro local que não introduza falso positivo e altere os resultados analíticos.

ÁGUA SUPERFICIAL

A amostragem de água superficial em rios deverá seguir os procedimentos apresentados no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), bem como as normas ABNT NBR 9.897:1987 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores, e ABNT NBR 9.898:1987 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. No caso de amostras que não podem sofrer aeração, a garrafa de Van Dorn de fluxo horizontal deverá ser empregada.

POEIRA DOMICILIAR

A coleta de amostras de poeira domiciliar deverá seguir os métodos apresentados na normativa definida pelas normas:

- ASTM International, 2016. D7144 “Standard Practice for Collection of Surface Dust by Micro-vacuum Sampling for Subsequent Metals Determination”. 2016.
- ASTM International, 2016. D7144 “Standard Practice for Collection of Surface Dust by Micro-vacuum Sampling for Subsequent Metals Determination”. 2016.
- ASTM, 2016. D7144 “Standard Practice for Collection of Surface Dust by Micro-vacuum Sampling for Subsequent Metals Determination”. West Conshohocken, PA. ASTM International, 2016.

POÇOS DE MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Quando necessária a instalação de poços de monitoramento de água subterrânea, consistente com os modelos conceituais de cada Área Alvo, a sondagem deverá ser executada de acordo com ABNT NBR 15.492:2015 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – procedimento.

O material perfurado deverá ser descrito em toda a extensão perfurada, de acordo com o Anexo A (normativo) – Litografia do Perfil de Sondagem da ABNT NBR 15.492:2015 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - procedimento.

Após a retirada da amostra coletada em recipiente plástico descartável (liner), deverá ser usada uma ferramenta de corte para a confecção de uma abertura longitudinal no mesmo que permita identificar visualmente qual(is) a(s) porção(ões) do liner é mais apropriada(s) para a coleta de amostras de solo para envio para análises químicas de interesse (NBR 16434:2015).

Os poços de monitoramento deverão ser instalados conforme ABNT/NBR 15.495-1: 2007 – “Poços de Monitoramento de Água Subterrânea em Aquíferos GranularSHs. Parte 2: Desenvolvimento”.

ALIMENTOS DE ORIGEM VEGETAL

A coleta de amostras de alimentos de origem vegetal será realizada junto aos pequenos, médios e grandes produtores da Área Alvo, segundo o MCA_{MA}.

Uma vez identificada a espécie a ser coletada será realizada a composição inicial de indivíduos desta espécie visando gerar uma amostragem composta de uma determinada região de cultivo. Como indicado em US.EPA (2002) “*Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection*” a amostragem composta pode ser utilizada quando objetivo principal é estimar a média populacional de um determinado analito. No caso de espécies

vegetais, o valor individual de cada amostra não é de interesse prático, tornando a composição uma estratégia eficiente para garantir maior precisão na estimativa da concentração média de uma região ao mesmo passo que pode reduzir dispersões extremas (provindas de amostras pontuais) pelo processo de “homogeneização” da amostra. Cada amostra a ser enviada para análise química será composta por no mínimo três amostras da mesma espécie vegetal por local de amostragem. A definição da quantidade de amostras e dos locais de amostragem em uma região de cultivo dependerá do tamanho da área, da disponibilidade da espécie vegetal e da densidade de pontos de coleta definida em projeto. Dessa maneira, ainda que a abordagem estatística conduza as análises (considerando a ausência de continuidade espacial), a espacialidade dos fenômenos estudados é considerada no processo de amostragem, garantindo pontos de coleta espalhados ao longo de toda área de cultivo.

A partir desta composição serão definidas quantidades de amostras duplicatas e triplicadas para controle analítico.

Após a coleta, as amostras serão meticulosamente lavadas com água destilada e deionizada para limpeza total de poeira ou da terra, e secados com papel toalha. Após a lavagem e secagem, as amostras de vegetais serão embaladas em saco plástico com zip.

ALIMENTOS DE ORIGEM ANIMAL

A coleta de amostras de alimentos de origem animal, com exceção de peixes, será realizada junto aos pequenos produtores da Área Alvo e em localidades onde houver criação de animais, conforme MCA_{MA} da AA_{MA} em estudo.

Os procedimentos de coleta serão procedimentos específicos para cada tipo de alimento de origem animal.

ICTIOFAUNA E PESCADOS

O pescado será coletado utilizando-se redes de espera, tarrafa e peneira. Os espécimes capturados serão anestesiados/eutanasiados conforme a Diretriz da Prática da Eutanásia do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e posteriormente acondicionado em gelo para transporte até o local de amostragem de tecido. Nos pontos de coleta de pescado, será monitorada na superfície da coluna d'água as variáveis limnológicas como pH, temperatura, potencial oxi-redução (ORP), oxigênio dissolvido (OD), utilizando-se sondas multiparamétricas digitais. Também será medida a profundidade na área da coleta com um equipamento do tipo PIU com fita graduada. O material coletado será identificado através de bibliografias especializadas, tais como os trabalhos de Fowler (1941, 1951), Lucena (2003), Malabarba (2004), Piorski et al. (1998), Reagan (1904, 1911), Reis (1989d) e Vari (1989b).

A situação taxonômica atual das espécies identificadas será verificada através do site do projeto FISHBASE (www.fishbase.org) mantido pela FAO. Além disso, será feito um registro fotográfico de cada espécie. Será realizada a análise morfológica e análise qualitativa e quantitativa dos indivíduos por espécie com medições de tamanho com fita métrica.

Os indivíduos coletados devem obedecer ao intervalo de tamanho padrão estabelecido para a espécie. A coleta de tecido muscular dos exemplares de pescado será realizada com material cerâmico e acondicionadas em sacos plásticos estéreis fabricados com matéria prima virgem. Primeiramente será coletado um “bloco” de músculo da região dorsal, imediatamente após a nadadeira dorsal, quando possível com medida aproximada de 2 x 2 cm, sem que haja a remoção da pele ou de escamas. Espécies de menor tamanho serão amostradas em sua totalidade. Em seguida será coletado o fígado inteiro do animal, sendo extraído pela barriga, com corte longitudinal. Assim como o filé, a amostra de fígado precisa ter um peso aproximado de 100g. A quantidade de amostra biológica de tecido de peixe dissecado será de 50 a 200g e será armazenada congelada até o momento da análise laboratorial de quantificação dos elementos de interesse.

10.1.4.3 Validação de Dados Primários

A validação de dados primários obtidos pela execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente* será realizada pela aplicação da metodologia descrita na seção 9 (*Avaliação e Validação de Dados Ambientais*).

10.2 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

A Avaliação da Exposição tem como objetivo a determinação do tipo, magnitude e frequência da exposição humana às SQI presentes no meio físico a partir de uma fonte de contaminação, associados a um dado evento de exposição atual e/ou futuro. Para o desenvolvimento da avaliação da exposição será seguida a metodologia descrita nos itens de 6.1 a 6.3 do *RAGS Human Health* (US.EPA, 1989a). A etapa de Avaliação de Exposição será dividida em dois passos distintos, a saber:

- Caracterização dos cenários de exposição;
- Quantificação do ingresso.

Os parâmetros exposicionais a serem utilizados na quantificação do ingresso serão definidos com base na Máxima Exposição Razoável (MER) e a partir de dados específicos obtidos para cada área alvo por meio da aplicação do *Questionário de Levantamento de Dados Expositivos*.

10.2.1 Caracterização dos Cenários de Exposição

Nesta etapa, o MCA_{MA} desenvolvido anteriormente com base nos dados secundários obtidos da etapa de *Compilação, Avaliação e Validação de Dados*, será revisado e detalhado com base nos dados primários obtidos pela execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*.

Serão definidos e validados todos os caminhos pelos quais a contaminação associada ao rompimento da barragem de B-I se desloca a partir das fontes secundárias nos compartimentos do meio físico de interesse e chegam a uma população potencialmente exposta, conforme descrito nos itens de 4.5, 6.1, 6.2 e 6.3 do *RAGS Human Health* (US.EPA, 199a).

Será considerado que obrigatoriamente os cenários de exposição a serem avaliados para a Área Alvo devem ser sempre relacionados aos seguintes elementos:

- Fonte secundária de contaminação;
- Substâncias químicas de interesse (SQI), conforme itens 5.8 e 5.9 do *RAGS Human Health*;
- Rota/Caminhos de exposição, conforme item 6.3 do *RAGS Human Health*;
- Receptores potenciais, conforme itens 4.5 e 6.3 do *RAGS Human Health*;
- Ponto de exposição (PDE), conforme itens 4.5 e 6.3 do *RAGS Human Health*;
- Via de ingresso, conforme item 6.3 do *RAGS Human Health*;
- Consolidação dos cenários de exposição, conforme item 6.3.5 do *RAGS Human Health*.

10.2.1.1 Fonte Secundária de Contaminação

A definição das fontes secundárias de contaminação associadas ao rompimento da barragem B-I será realizada com base nos resultados obtidos a partir das etapas de *Compilação, Análise e Validação de Dados* e execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*.

Será definida como fonte de contaminação primária o rompimento da barragem B-I, e fonte de contaminação secundária os compartimentos do meio físico (solo superficial e subsuperficial, água superficial e subterrânea, sedimento, poeira domiciliar) e ambientais (alimentos vegetais, alimentos animais), caracterizados no ponto de exposição (PDE).

10.2.1.2 Substâncias Químicas de interesse

10.2.1.2.1 Seleção

Uma Substância Química de Interesse (SQI³) em estudos de ARSH é aquela substância química quantificada acima de seu padrão legal aplicável (PLA) ou aquelas que não possuem padrão legal definido. Para o estudo de ARSH a seleção das substâncias químicas de interesse deverá ser realizada por sua comparação com o padrão legal aplicável, que resultará na definição das SQIs, ou seja, todas as substâncias químicas que apresentarem concentrações acima dos padrões legais aplicáveis, ou que não possuem um Padrão Legal Aplicável (PLA), serão selecionadas como SQIs.

Neste contexto, a seleção das SQIs para uma determinada Área Alvo terá como base as informações disponíveis na etapa de *Consolidação, Avaliação e Validação de Dados* (secundários) e os resultados analíticos obtidos para as amostras coletadas na execução do *Plano de Investigação para Meio Ambiente*, bem como dos procedimentos técnicos descritos no *RAGS Human Health* (US.EPA, 1989a).

A seleção será realizada por meio da identificação das substâncias químicas para cada fonte de contaminação secundária, conforme os critérios a seguir:

- (1) Listar para cada compartimento de interesse do meio físico e pontos onde ocorrem concentrações das substâncias químicas pelo seguinte critério:
 - a. As identificadas analiticamente acima do Limite de Quantificação da Amostra (LQ);
 - b. As que possuem resultados válidos;
 - c. As que estão acima dos Padrões Legais Aplicáveis (Valores de Investigação, Padrões de Potabilidade, entre outros). A comparação das concentrações obtidas nas amostras de cada compartimento do meio físico com Padrões Legais Aplicáveis (PLA) seguirá a seguinte ordem de priorização:
 - Comparação com Padrões Legais Locais (Municipais e Estaduais);

³ Uma Substância Química de Interesse (SQI) para projetos de ARSH é aquela substância química quantificada em amostras de pelo menos um compartimento do meio físico ou compartimentos ambientais dentro de uma Área Alvo, cuja concentração esteja acima dos padrões legais aplicáveis (PLA) a esse compartimento ou que não possua PLA definido.

- Comparação com Padrões Legais Federais Nacionais;
- Comparação com Padrões Legais de outros Municípios e Estados;
- Comparação com Padrões Legais Internacionais reconhecidos nacionalmente.

(2) Listar as substâncias químicas que não possuem Padrão Legal Aplicável para um determinado compartimento ambiental.

As substâncias químicas selecionadas conforme os critérios especificados acima também serão avaliadas, de forma complementar e conforme RAGS (1989a), pelos seguintes critérios:

1. Deve possuir dados toxicológicos validados cientificamente e disponíveis;
2. Deve possuir dados físico-químicos validados cientificamente e disponíveis;
3. Deve possuir relação R_{ij}/R_j (fator de risco para a substância i no meio j /fator de risco total no meio j) superior a 0,01.

Conforme destacado anteriormente, toda substância química cujas concentrações forem superiores ao PLA, assim como aquelas que não possuem PLA para um determinado compartimento ambiental, serão classificadas como SQIs, mesmo que em concentrações inferiores aos níveis basais na Região de Exposição Direta (RED).

Os valores a serem considerados como valores de corte para seleção de SQI, serão aqueles correspondentes à matriz ambiental na qual a substância química ocorre, ou seja, sempre serão comparadas concentrações de substâncias químicas de uma matriz ambiental com o PLA correspondente para aquela matriz. Casos específicos como poeira domiciliar serão discutidos a seguir.

10.2.1.2.2 Definição de Níveis de Base (*Background*)

Duas etapas serão cumpridas visando o estabelecimento da correlação espacial química entre as concentrações de SQI que ocorram associadas ao rejeito e concentrações associadas ao nível de base local (*background*), a saber.

- Comparação com os níveis encontrados em regiões não impactadas (locais de referência);
- Comparação com os níveis de concentrações basais.

Os dois itens apresentados acima serão executados com o objetivo de classificar a substância química de interesse como relacionada ou não ao rompimento da Barragem B-I, e não influenciarão na classificação da inicial de SQIs. Reforça-se que toda substância química cujas concentrações forem superiores ao PLA, assim como aquelas que não possuírem PLA para um determinado compartimento ambiental, serão classificadas como SQIs e, portanto, avaliadas pela aplicação do RAGS *Human Health* (US.EPA, 1989a).

Para a classificação de uma substância química de interesse previamente definida será levado em conta outras fontes de contaminação potenciais existentes na Bacia do rio Paraopeba e a avaliação de distribuição espacial destas substâncias em função de possíveis ocorrências geoquímicas específicas regionais. As substâncias químicas de interesse serão consolidadas e classificadas em lista dividida por matriz ambiental e as substâncias químicas avaliados, considerando:

- **Substâncias químicas que não são substâncias químicas de interesse para o rompimento da barragem B-I:**
 - ❖ Para as substâncias químicas cujas concentrações não excederam os valores de referência regulatórios;
- **Substância química de interesse relacionada ao rompimento da barragem B-I:**
 - ❖ Quando a concentração das substâncias químicas em um dado compartimento ambiental for maior na área afetada do que na área não afetada e maior do que o nível de concentração basal. Adicionalmente, concentração da substância química na fonte primária (rejeito da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão) será levada em consideração;
- **Substância química de interesse remobilizada pelo rompimento da barragem B-I:**
 - ❖ Quando a concentração das substâncias químicas em um dado compartimento ambiental for maior na área afetada do que na área não afetada e maior do que o nível de concentração basal. Adicionalmente, concentração e ocorrência da substância química na fonte primária (rejeito da barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão) será levada em consideração;
- **Substância química de interesse que é metabólito gerado pelo rompimento da barragem B-I:**
 - ❖ Quando a concentração das substâncias químicas em um dado compartimento ambiental for maior na área afetada do que na área não afetada e maior do que o nível de concentração basal. Adicionalmente, concentração e ocorrência da substância química na fonte primária (rejeito da barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão) será levada em consideração, bem como os processos físico-

químicos e químicos que podem atuar na substância original para geração de metabólitos;

- **Substância química de interesse não relacionada ao rompimento da barragem B-I:**
 - ❖ Quando a concentração da substância química em um dado compartimento ambiental for menor na área afetada do que na área não afetada ou menor que o nível de concentração basal.

Para definição de níveis de concentração basal (*background*) não são utilizadas sondagens que apresentaram rejeito na sondagem de sedimento subsuperficial (intracalha) ou rejeito na sondagem para solo subsuperficial (extracalha). Somente sondagens que não apresentam nenhuma ocorrência de rejeitos são utilizadas para definição dos níveis de base.

10.2.1.2.2.1 Comparação de Concentrações em RED, REI e RNE

Quando a concentração de uma substância química em uma amostra de uma determinada matriz ultrapassa seu PLA correspondente, automaticamente esta substância passa a ser classificada com SQI para fins da avaliação de risco a saúde humana e risco ecológico (Linha de Evidência Química), para a qual será obrigatoriamente calculado o risco à saúde humana e ecológico.

A comparação entre níveis encontrados em regiões impactadas e não impactadas, com o objetivo do estabelecimento da referência de níveis basais (*background*), e servirá tão somente para classificar as SQI conforme descrito na seção 10.2.1.2.1. Esta etapa torna-se necessária para determinação dos níveis basais (*background*) relacionados à distribuição das substâncias químicas de interesse na RED, REI e RNE.

Esta etapa será realizada para as substâncias químicas de interesse, selecionadas na etapa anterior (Seção 10.2.1.2.1).

Para a comparação das concentrações detectadas em áreas afetadas e não afetadas pelo rompimento da Barragem I da Mina do Córrego do Feijão serão realizados os seguintes passos:

1. Resumo Estatístico dos Dados

Deverá apresentar informações por substância química de interesse e para cada matriz ambiental dos MCA_{MA} para cada estudo de ARSH: número de amostras coletadas por região de exposição (RED, REI e RNE); concentração mínima; concentração máxima; concentração média; e, desvio padrão. Em seguida, serão identificadas as substâncias químicas de interesse cujas concentrações médias na região de exposição direta (RED) são maiores que as

concentrações médias na região de não-exposição (RNE). O detalhamento deste procedimento encontra-se no Apêndice 01 deste projeto.

2. Análise de Variância (ANOVA)

Será conduzida análise de variância (ANOVA) de um fator (F), com o objetivo de avaliar se a região de exposição é um fator significativo para explicar a ocorrência das concentrações detectadas. A análise ANOVA será realizada para as substâncias químicas de interesse que foram identificadas ao final da execução do item 1 acima, para cada matriz ambiental. O detalhamento deste procedimento encontra-se no Apêndice 01 deste projeto.

Os passos acima visam responder às perguntas: a concentração da substância química de interesse na área afetada é maior do que na área não afetada? Quais são os níveis basais (background) a serem considerados para a AA_{MA} em estudo?

Quando a concentração da substância química de interesse detectada na área afetada for maior que o nível de concentração basal, a substância química de interesse será classificada como substância relacionada ao evento. Por outro lado, quando a concentração da substância química de interesse detectada na área afetada for menor que o nível de concentração basal, ela será classificada como substância não relacionada ao evento.

10.2.1.3 Caminhos de Exposição

Os caminhos de exposição de interesse a serem considerados serão solo superficial e subsuperficial, água superficial e subterrânea, sedimento e poeira domiciliar (compartimentos do meio físico) e, alimentos vegetais, alimentos animais e biota (compartimentos ambientais);

10.2.1.4 Receptores Potenciais

Serão consideradas como populações expostas ou potencialmente expostas os residentes rurais e urbanos, trabalhadores rurais e urbanos, trabalhadores de obras civis, trabalhadores e residentes eventuais, praticantes de atividades recreacionais e praticantes de pesca (esportiva, para consumo próprio ou para venda). A população receptora será definida com a maior precisão possível. Cada Área Alvo será considerada como única e individual, com o objetivo de se determinar as características distintas que poderiam aumentar ou retardar a frequência e magnitude da exposição humana, sendo que serão observados os seguintes fatores: Idade da população, Condições climáticas, Acessibilidade à área de estudo, Usos do solo e dos recursos naturais. Também será realizada a estimativa do tamanho das populações receptoras expostas ou potencialmente expostas a cada uma das rotas de exposição identificada para a Área.

10.2.1.5 Ponto de exposição (PDE)

Será considerado como PDE o local onde pode ocorrer ou ocorre o contato humano com o compartimento do meio físico ou ambiental contaminado pelo evento de rompimento da barragem B-I (residências, local de trabalho, parque desportivo, jardim, curso ou corpo de água, manancial, poço de água subterrânea ou áreas destinadas para agricultura e pecuária).

10.2.1.6 Vias de Ingresso

Serão consideradas como vias de ingresso a ingestão (solo superficial, sedimento, poeira domiciliar, água subterrânea, água superficial, alimentos vegetais e animais), inalação (solo superficial e sedimento superficial) e contato dérmico (água subterrânea, água superficial, solo superficial e sedimento superficial).

10.2.1.7 Consolidação dos cenários de exposição

Será considerado que uma rota/cenários de exposição válida será sempre composta pelos cinco elementos listados acima. Os cenários de exposição serão classificados como completos ou potenciais. Cada cenário completo representará uma condição de exposição passada ou presente. Cada cenário potencial representará uma condição de exposição futura. Nos estudos de ARSH serão discutidos sempre as rotas/cenários de exposição completos e potenciais.

Será considerada como caminho de exposição completo aquela em que os cinco elementos listados anteriormente foram identificados, ligando desta forma a fonte de contaminação (primária ou secundária) à população receptora (expostas ou potencialmente expostas). Independentemente de ter ocorrido no passado, presente ou futuro, em todos os casos em que a rota seja completa, a população será considerada exposta. Cada rota de exposição completa será discutida separadamente e apresentada com os cinco elementos (fonte de contaminação, compartimentos de interesse (do meio físico e ambientais), ponto de exposição, via de ingresso e população receptora conectados logicamente).

Um caminho de exposição será categorizado como potencial quando faltar um ou mais dos elementos que constituem uma rota de exposição. Também serão incluídas nesta categoria aquelas rotas para as quais se empregou a modelagem a fim de completar lacunas de informação. Uma rota potencial indicará que a exposição a uma SQI pode ter ocorrido no passado, que pode ocorrer no presente ou que poderá ocorrer no futuro.

Um caminho de exposição será eliminado se ao menos um dos seus cinco elementos está ausente e nunca ocorrerá. O julgamento profissional será usado para eliminação de um

caminho de exposição por falta de dados ambientais. Se uma rota de exposição suspeita não será categorizada como completa ou potencial e nenhum contaminante de interesse é identificado, a rota será eliminada.

Serão considerado três categorias de exposição humana, a saber: população exposta, população potencialmente exposta e exposição desconhecida.

Uma população será considerada como exposta se existiu, existe ou existirá, uma rota de exposição completa que liga o contaminante a esta população. Uma população exposta inclui pessoas que no passado, presente ou futuro, ingerem, inalam ou entram em contato com uma ou mais SQIs considerando as rotas de exposição completas.

Uma população será considerada como potencialmente exposta se uma rota de exposição potencial tenha existido no passado, existe no presente ou existirá no futuro.

Uma população será considerada com exposição desconhecida quando não tenha sido possível estabelecer uma rota de exposição completa ou potencial.

10.2.2 Quantificação do Ingresso

A caracterização da exposição será feita através do cálculo (estimativa) da dose de exposição relacionada à cada via de exposição da rota de exposição validada para uma substância química de interesse. Essa dose de exposição será estimada conforme a seguinte equação geral:

$$DE = \frac{C \times TI \times FE \times FB}{PC}$$

Onde,

C = concentração da substância química de interesse;

TI = taxa de ingresso;

FE = fator de exposição;

FB = fator de biodisponibilidade;

PC = peso corporal.

O fator de exposição é definido pela equação:

$$FE = \frac{EF \times ED}{AT}$$

Onde,

EF = frequência de exposição;

ED = duração da exposição;

AT = período relacionado à dose de exposição.

Tendo como objetivo avaliar a dose de exposição no contexto da variação das concentrações de cada substância química de interesse detectada em uma determinada matriz ambiental, será feito o cálculo da dose de exposição para as seguintes concentrações de entrada:

- A máxima concentração detectada no PDE;
- A concentração que representa o 95 UCL (percentil de 95% de confiança da média aritmética) da concentração da substância química de interesse na matriz ambiental;
- A média aritmética e a média geométrica das concentrações da substância química de interesse detectadas, conforme recomendação do item 7.3.1.4 da ATSDR (2005).

As taxas de ingresso e fatores de exposição a serem utilizados para a estimativa da dose de exposição serão selecionados conforme a seguinte ordem de prioridade: fatores de exposição específicos da área de estudo, quando disponíveis; fatores de exposição de literatura científica brasileira, quando disponíveis (e.g. Diretrizes do MS, CETESB); fatores de exposição do *Exposure Factors Handbook* e do *Child-Specific Exposure Factors Handbook* da USEPA. Os fatores de exposição provenientes de literatura científica serão utilizados conforme as premissas e orientações dos estudos dos quais os fatores de exposição foram determinados, estando consistentes com o entendimento científico mais atual.

A biodisponibilidade corresponde à fração de um composto químico em um compartimento ambiental que, após processo de absorção, se encontra disponível para participação nos processos fisiológicos de um organismo (US EPA, 2007). O fator de biodisponibilidade será determinado, quando aplicável, através de testes de biodisponibilidade validados, realizados para amostras coletadas durante a execução da FASE II. Na impossibilidade de serem executados testes de biodisponibilidade, conforme recomendação da ATSDR (2005), o fator de biodisponibilidade será assumido como 1 (ou 100%) em uma etapa inicial do cálculo da dose de exposição. Na verificação de dose de exposição que excedam os valores de referência de saúde ou os níveis de risco aceitáveis com a aplicação do fator de biodisponibilidade de 100%, a biodisponibilidade da substância química de interesse será avaliada com maior detalhamento.

10.2.3 ANÁLISE DE TOXICIDADE

10.2.3.1 Estudo do Perfil Toxicológico

O estudo do perfil toxicológico de cada SQI consistirá na caracterização das fases de exposição (contato do organismo com a SQI), da toxicocinética (destino do contaminante após seu contato com o organismo – processos de absorção, distribuição, acumulação, biotransformação e eliminação), da toxicodinâmica (mecanismos de ação da SQI no organismo e aparecimento de efeitos nocivos decorrentes da ação tóxica) e a clínica (sinais e sintomas, ou alterações detectáveis, que caracterizam os efeitos deletérios causados no organismo).

Será utilizada como fonte bibliográfica primária para o levantamento dos perfis toxicológicos das substâncias químicas de interesse a versão mais atualizada dos perfis toxicológicos compilados pela ATSDR, disponíveis no website: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>. Na ausência de perfis toxicológicos nessa fonte primária, serão utilizadas informações disponíveis nas seguintes fontes, em ordem de prioridade: Sistema Integrado de Informações sobre Risco (IRIS, *Integrated Risk Information System*) da US EPA; informações do INCHEM (*Internationally Peer Reviewed Chemical Safety Information*) do Programa Internacional de Segurança Química (IPCS, *International Programme on Chemical Safety*); informações da Rede de Dados Toxicológicos (TOXNET, *Toxicology Data Network*); e, as monografias da Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (IARC, *International Agency for Research on Cancer*).

Caso seja necessário, outras fontes de literatura sobre os perfis toxicológicos das substâncias químicas de interesse poderão ser utilizadas, respeitando a ordem de prioridade apresentada anteriormente.

10.2.3.2 Identificação dos Efeitos sobre a Saúde: Carcinogênicos e Não-Carcinogênicos

Serão discutidos os possíveis efeitos à saúde relacionados à exposição às substâncias químicas de interesse. Esses efeitos à saúde serão classificados como efeitos carcinogênicos e não-carcinogênicos, sendo detalhadas, com base nas evidências científicas apresentadas nos perfis toxicológicos das substâncias químicas de interesse, as rotas de exposição que estão associadas a esses efeitos. Adicionalmente, esses efeitos serão discutidos em termos de efeitos crônicos, sub-crônicos ou agudos.

10.2.3.3 Avaliação Toxicológica Detalhada

A avaliação toxicológica detalhada seguirá os procedimentos descritos nas seções 8.3 a 8.7 do documento “*Public Health Assessment Guidance Manual (Update)*” da ATSDR (2005), incluindo:

- Avaliação crítica dos estudos científicos utilizados para a definição dos valores de referência de saúde, levando em consideração as condições experimentais, as populações avaliadas pelos estudos e a forma química da substância utilizada para a determinação do modelo dose-resposta;
- Comparação das doses de exposição calculadas com os dados de estudos dose-resposta disponíveis para a substância química de interesse;
- Avaliação de fatores que possam influenciar a resposta toxicológica da exposição à substância química de interesse, levando em consideração aspectos de biodisponibilidade e essencialidade;
- Determinar a necessidade de avaliação de dados de efeitos à saúde específicos da área alvo, incluindo dados de mortalidade, morbidade ou biomonitoramento;
- Consolidação das informações geradas na análise toxicológica detalhada.

As conclusões da avaliação toxicológica detalhada correspondem à uma descrição qualitativa das evidências que permitem avaliar se as condições de exposição estimadas para a área alvo são de natureza, frequência e magnitude suficiente para representar implicações à saúde humana.

10.2.4 CARACTERIZAÇÃO DO RISCO

10.2.4.1 Caracterização do Risco Carcinogênico

Para efeitos carcinogênicos, as doses de exposição estimadas serão utilizadas para o cálculo do nível de risco, que será feito através da multiplicação da dose pelo fator de carcinogenicidade (slope factor). Os fatores de carcinogenicidade a serem utilizados serão os obtidos durante a etapa de levantamento do perfil toxicológico da substância química de interesse. Na inexistência de fatores de carcinogenicidade, os valores de unidade de risco (UR) do IRIS da US.EPA serão utilizados para o cálculo do fator de carcinogenicidade.

O nível de risco calculado será comparado com o nível de risco aceitável para efeitos carcinogênicos de 1×10^{-5} , seguindo orientação da Resolução CONAMA nº 420/2009.

Para as substâncias químicas de interesse que apresentaram excedência aos valores de referência de saúde ou ao nível de risco aceitável para uma determinada rota de exposição, será

realizada a avaliação toxicológica detalhada, conforme capítulo 8 do documento “*Public Health Assessment Guidance Manual (Update)*” da *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR) de 2005.

Adicionalmente, após a quantificação do risco individual para cada SQI avaliada será quantificado o risco cumulativo.

Os resultados da comparação das doses de exposição estimadas com os valores de referência de saúde e níveis de risco aceitáveis serão sumarizados conforme as recomendações da ATSDR (2005):

- A avaliação de risco à saúde humana deve incluir um resumo do processo de comparação das doses de exposição com os valores de referência de saúde. Esse resumo deve ser escrito em termos não-técnicos e deve incluir uma descrição do uso e das limitações desse tipo de comparação;
- Esse resumo deve salientar que o processo de estimativa das doses de exposição e comparação com os valores de referência é uma etapa de triagem das substâncias químicas a serem avaliadas detalhadamente, enfatizando que esse processo de triagem não identifica efeitos adversos à saúde (doenças e agravos);
- O documento de avaliação de risco à saúde humana deve indicar claramente todas as considerações utilizadas para a seleção das concentrações das substâncias químicas de interesse, valores de referência ambientais, variáveis para a estimativa da dose de exposição e valores de referência de saúde;

Deve também ser indicado claramente quais substâncias foram selecionadas para uma avaliação mais detalhada da exposição e o porquê dessa seleção; assim como quais substâncias foram determinadas como não tendo potencial de representar perigo à saúde e o porquê.

10.2.4.2 Caracterização do Risco não Carcinogênico

Para efeitos não-carcinogênicos, as doses de exposição estimadas serão comparadas com valores (doses) de referência de saúde.

Os valores de referência de saúde a serem utilizados são, em ordem de prioridade: Níveis de Risco Mínimo (MRL) da ATSDR; Doses de Referência da US EPA; e, os *Provisional Peer Reviewed Toxicity Values* (PPRTVs), da US EPA. Outras fontes de valores de referência de saúde poderão ser utilizadas, caso necessário. Todas as premissas e orientações de utilização dos valores de referência de saúde definidos pelos órgãos responsáveis serão seguidos.

Para a comparação da dose de exposição com o valor de referência de saúde, será feita a divisão das doses de exposição calculadas pelo valor de referência de saúde selecionado

(quociente de periculosidade), sendo que, seguindo orientação da Resolução CONAMA nº 420/2009 e ATSDR (2005):

Na verificação de valores inferiores a 1, que indica que a dose de exposição calculada é menor que o valor de referência de saúde, será concluído que a substância química de interesse não possui potencial de representar perigo à saúde;

Na verificação de valores superiores a 1, que indica que a dose de exposição calculada é maior que o valor de referência de saúde, será realizada uma avaliação mais detalhada da exposição estimada, conforme recomendação ATSDR (2005).

10.2.5 ANÁLISE DE INCERTEZAS E SENSIBILIDADE

A primeira etapa da análise de incertezas e sensibilidade consiste na avaliação crítica dos parâmetros utilizados como dados de entrada da equação de cálculo das doses de exposição. Essa avaliação crítica terá caráter qualitativo e objetivo de identificar lacunas técnicas no processo de geração desse dado de entrada.

A Análise de Incertezas e Sensibilidade será desenvolvida com base na metodologia descrita nos itens 6.8 e 7.6 “*Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA/540/1-89/002). PART A, Volume I*” e suas posteriores revisões.

Serão analisadas as incertezas associadas à geração de dados e informações sobre a Área Alvo, considerando:

- Caracterização do meio físico regional e local (geológica, pedológica, hidrogeológica, geotécnica, hidrológica);
- Caracterização da contaminação;
- Caracterização do uso e ocupação do solo.

Serão também analisadas as incertezas associadas à geração de dados e informações sobre os parâmetros exposicionais considerando:

- Sistemática de levantamento de dados exposicionais;
- Sistemática de definição dos parâmetros exposicionais específicos, os quais serão levantados a partir da aplicação do “Questionário de Levantamento de Dados Exposicionais” e tratados estatisticamente;
- Consistência técnica dos cenários de exposição desenvolvidos e validados.

A análise de sensibilidade será desenvolvida com o objetivo de identificar os parâmetros de cálculo da dose de exposição que mais influenciam na dose estimada. A análise de sensibilidade será realizada através da Avaliação de Risco Probabilística (PRA).

A PRA é uma avaliação de risco que usa distribuições de probabilidade para caracterizar variações ou incertezas nas estimativas de risco. Serão utilizadas uma ou mais variáveis das equações para quantificação do risco como distribuição de probabilidade, substituindo desta forma o valor único utilizado anteriormente. Sendo assim, o resultado desta etapa será um intervalo ou distribuição de probabilidade dos riscos quantificados para cada cenário de exposição válido.

A Avaliação de Risco Probabilística será desenvolvida com base na metodologia descrita no “U.S. EPA. *Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA 540-R-02-002). PART A, Volume III. Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment*” e suas posteriores revisões.

Os objetivos da PRA são:

1. Descrever quantitativamente o grau de variabilidade e incerteza nas estimativas de risco para efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos para a saúde humana, fornecendo desta forma uma caracterização abrangente do risco;
2. Avaliar a utilização dos parâmetros exposicionais com valores que representem a Máxima Exposição Razoável (RME);
3. Avaliar a utilização dos parâmetros exposicionais com valores que representem o perfil exposicional específico da Área Alvo;
4. Definir os valores para os parâmetros exposicionais que representam o trecho em estudo com limite de confiança de 95%.

Serão utilizadas Simulações de Monte Carlo para desenvolvimento da PRA que consiste num processo de iterações matemáticas para resolução da fórmula de cálculo da dose de exposição, variando-se os valores dos parâmetros de entrada dentro de uma determinada faixa aceitável até que o resultado destas iterações identifique faixas de tendência aceitável para os resultados. O *software* Crystal Ball® desenvolvido pela empresa Decisioneering (www.decisioneering.com) será utilizado para esta finalidade. A simulação de Monte Carlo será desenvolvida conforme especificado nos documentos:

- *Guiding Principles for Monte Carlo Analysis* – US EPA, 1997.
- *Risk Assessment Forum White Paper: Probabilistic Risk Assessment Methods and Case Studies* – US EPA, 2014.

Os resultados da análise de incerteza e sensibilidade serão integrados com o objetivo de estabelecer quais limitações estão presentes nos resultados da avaliação de risco, considerando análise das aproximações qualitativas/semiquantitativas/quantitativas que podem ter influenciado diretamente nos resultados da quantificação do risco.

10.2.6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões das etapas anteriores do estudo de avaliação de risco à saúde humana serão dimensionadas conforme estrutura recomendada pela metodologia *RAGS Human Health* (US.EPA, 1989a).

As recomendações e conclusões serão desenvolvidas visando o estabelecimento de critérios e ações voltadas para gestão e mitigação a níveis aceitáveis dos riscos teóricos calculados, os quais serão tratados Plano de Gestão Ambiental de forma a estabelecer medidas de controle institucional, medidas de engenharia, medidas de remediação, medidas monitoramento, medidas de comunicações do risco e medidas de monitoramento ambiental para a área em estudo.

Sendo assim, todas as ações de reabilitação ambiental a serem dimensionadas no Plano de Gestão Ambiental visando a mitigação do risco teórico a níveis aceitáveis, serão ser integradas ao *Plano de Reparação Ambiental Integral da Bacia do rio Paraopeba*.

11 REFERÊNCIAS

- A AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos”. Brasília, DF, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). “Resolução da diretoria colegiada – RDC nº 42”. Brasília, 29 de agosto de 2013. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/rdc0042_29_08_2013.pdf/c5a17d2d-a415-4330-90db-66b3f35d9fbd.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). “Public Health Assessment Guidance Manual (Update)”. Atlanta, USA, 2005a.
- ALBUJA, L. Murciélagos del Ecuador. 2da Edición, Cicetronic Cía. Ltda. Offset Quito, Ecuador, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004:2004 “Resíduos Sólidos - Classificação”. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.005:2004. “Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos”. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.006:2004 “Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos”. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.007:2004 “Amostragem de resíduos sólidos”. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.492:2007 “Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento”. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.515-1:2007 Versão Corrigida:2011 “Passivo ambiental em solo e água subterrânea- Parte 1: Avaliação preliminar”. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.515-2:2011
“Passivo ambiental em solo e água subterrânea- Parte 2: Investigação confirmatória”. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.515-3:2013
“Passivo ambiental em solo e água subterrânea- Parte 3: Investigação detalhada”. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15847, 2010
“Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de purga”. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.209:2013
“Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas”. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.435:2015
“Controle da qualidade na amostragem para fins de investigação de áreas contaminadas – Procedimento”. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9.897:1987
“Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - Procedimento”. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9.898:1987
“Preservação e técnicas de amostragem de afluentes líquidos e corpos receptores - Procedimento”. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO/IEC 17025:2017 “Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração”. Rio de Janeiro, 2017.

ASTM International, 2006. ASTM D 6634-01 “Standard Practice for the Selection of Purging and Sampling Devices for Groundwater Monitoring Wells”. 2016.

ASTM International, 2016. D7144 “Standard Practice for Collection of Surface Dust by Micro-vacuum Sampling for Subsequent Metals Determination”. 2016.

ASTM International, 2016. D7144 “Standard Practice for Collection of Surface Dust by Micro-vacuum Sampling for Subsequent Metals Determination”. 2016.

- ASTM, 2016. D7144 “Standard Practice for Collection of Surface Dust by Micro-vacuum Sampling for Subsequent Metals Determination”. West Conshohocken, PA. ASTM International, 2016. ÁSTUA, D.; MOURA, R.; GRELLE, C. E. V.; Fonseca, M. Influence of Baits, Trap Type, and Position for Small Mammals Capture in a Brazilian Lowland Atlantic Forest. Bol. Mus. Biol. Mello Leitão, v. 19, p. 31-44, 2006.
- ÁSTUA, D.; MOURA, R.; GRELLE, C. E. V.; Fonseca, M. Influence of Baits, Trap Type, and Position for Small Mammals Capture in a Brazilian Lowland Atlantic Forest. Bol. Mus. Biol. Mello Leitão, v. 19, p. 31-44, 2006.
- ATSDR. Public Health Assessment Guidance Manual (Update). U.S. Department of Health and Human Services. January 2005.
- BRASIL. “Decreto Nº 55.871”. Brasília, 26 de março de 1965.
- Brasil. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 588, de 12 de julho de 2018. Disponível em: <<https://www.conasems.org.br/wp-content/uploads/2019/02/Reso588.pdf>>. Acesso em: 13.05.2020.
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Plano de Resposta às Emergências em Saúde Pública / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – Brasília : Ministério da Saúde, 2014. 44 p. : il.
- Bussab, WO; Morettin, PA. Estatística Básica. São Paulo: Editora Saraiva, 2006 (5ª Edição).
- CASTIEL, Luis David; VASCONCELLOS-SILVA, Paulo Roberto; MORAES, Danielle Ribeiro de. Micromortevida Severina? A comunicação preemptiva dos riscos. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro , v. 33, n. 8, e00016017, 2017 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2017000803002&lng=en&nrm=iso>. access on 15 Apr. 2020. Epub Aug 21, 2017.
- CHEIDA, C. C., RODRIGUES, F. H. G. Introdução às técnicas de estudo em campo para mamíferos carnívoros terrestres. In: REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; ROSSANEIS, B. K.; FREGONEZI, M. N. (Eds.). Técnicas de estudos aplicadas aos mamíferos silvestres brasileiros. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 275 p, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria nº 038/2017/C. São Paulo, 2017.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). “Deliberação Normativa COPAM nº 166”. Minas Gerais, 29 de junho de 2011. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414>.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). “Resolução Nº 357”. Brasil, 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). “Resolução Nº 396”. Brasil, 3 de abril de 2008. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). “Resolução Nº 420”. Brasil, 28 de dezembro de 2009. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). “Resolução Nº 454”. Brasil, 01 de novembro de 2012. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>

CORREIA, Pedro. Modelação e Estimação: uma introdução à geoestatística. 1ª. ed. Paraná: LEG UFPR, 2010. 80 p. v. 1.

COSTA, H. C., BÉRNILS, R. S. Répteis brasileiros: Lista de espécies 2015. Herpetologia Brasileira, v. 4, p. 75- 93, 2015.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO). “Joint FAO/WHO Food Standards Programme - CODEX Committee on Contaminants in Foods - Fifth Session. The Hague, The Netherlands, Março de 2011.

FOWLER, H.W. 1941. A collection of freshwater fishes obtained in Eastern Brazil by Dr. Rodolpho von Ihering. Proc. Acad. Nat. Sci. Phila., 93: 123-199.

Hennink, M. International Focus Group Research, A Handbook for the Health and Social Sciences. Cambridge University Press. 2007

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Comitê Interfederativo – CIF. Deliberação nº 106, 2017.

Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/deliberacoes/2017/cif-2017-09-14-deliberacao-106.pdf>>.

IPCS (International Programme on Chemical Safety). Environmental health criteria 228, principles and methods for the assessment of risk from essential trace elements, United Nations Environment Programme, International Labour Organization, World Health Organization. 2002.

LORENA, Allan Gomes de. Comunicação de risco, vigilância sanitária e política de saúde. Rede Humaniza SUS – O SUS QUE DÁ CERTO. 2015. Disponível em: <<http://redehumanizasus.net/90011-comunicacao-de-risco-vigilancia-sanitaria-e-politica-de-saude/>>. Acessado em: 28.05.2020.

LOURENÇO, Milene Rocha; MARCHIORI, Marlene. A Prática da Comunicação de Risco nas Organizações. Facesi em Revista. Ano 4 – Vol. 4, edição especial – 2012. Disponível em: <http://www.uel.br/grupo-estudo/gecorp/images/Artigo__A_Comunica%C3%A7%C3%A3o_de_Risco_nas_Organiza%C3%A7%C3%B5es_Facesi__em_Revista.pdf>. Acessado em: 28.05.2020.

LUCENA, C.A.S. 2003. Revisão taxonômica e relações filogenéticas das espécies de Roeboides grupo – microlepis (Ostariophysi, Characiformes, Characidae). Iheringia, série zoologia, 93 (3): 283-308.

Magalhães, MN; Lima, ACP. Noções de Probabilidade e Estatística. São Paulo: EDUSP, 2008 (6ª edição).

MALABARBA, M.C.S.L. 2004. Revision of the Neotropical genus Triportheus Cope, 1872 (Characiformes: Characidae). Neotropical Ichthyology, 2(4): 167-204.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). “Manual de Procedimentos para Laboratórios – Área de microbiologia e físico-química de produtos de origem animal”. 2ª Edição. Brasília, DF, 2017. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/manual-finalizado-com-foto-dipoa-cgal-14_09_16.pdf.

Montgomery, DC; Runger, GC. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2012 (5ª Edição).

Morettin, LG. Estatística básica: probabilidade e inferência. São Paulo: Pearson, 2010.

- Morgan, D. Focus Groups from Start to Finish. JPSM. Portland State University. May 27-28, 2008.
- NAS/IOM (National Academy of Sciences/Institute of Medicine). Dietary reference intakes: guiding principles for nutrition labeling and fortification. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, Washington, DC. 2003.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Risk Perception and Communication, Commission on Behavioral and Social Sciences and Education. Improving Risk Communication. National Academy Press. Washington, D. C. 1989.
- Navidi, W. Probabilidade e estatística para ciências exatas. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- OMS. Organização Mundial da Saúde. Comunicação de riscos em emergências de saúde pública: um guia da OMS para políticas e práticas em comunicação de risco de emergência [Communicating risk in public health emergencies: a WHO guideline for emergency risk communication (ERC) policy and practice]. Genebra: Organização Mundial da Saúde; 2018. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- OMS. Organização Mundial da Saúde. Comunicação eficaz com a mídia durante emergências de saúde pública: um manual da OMS/Organização Mundial da Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2009. 180p. Tradução de: Effective Media Communication during Public Health Emergencies: a WHO Handbook.
- OMS. Treinamento em comunicação de risco emergencial. Disponível em: <<https://www.who.int/risk-communication/training/module-a/pt/>>. Acessado em: 13.05.2020.
- OPAS/OMS. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Créacion de una estrategia de comunicación para la influenza pandémica. 2009.
- RANGEL-S, Maria Ligia. Comunicação no controle de risco à saúde e segurança na sociedade contemporânea: uma abordagem interdisciplinar. Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro , v. 12, n. 5, p. 1375-1385, Outubro, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141381232007000500035&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 15 Apr. 2020.
- SÃO PAULO. Decreto-Lei nº 59.263, de 05 de junho de 2013 Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009 (<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59263-05.06.2013.html>)

- SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE DE MINAS GERAIS (SES-MG). Subsecretaria de Vigilância de Proteção à Saúde. Nota Técnica SUBVPS/SES-MG nº 11/2017, 2017. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-SAUDE/2017/CIF-NT-11-2017-CT-SAUDE.pdf>>.
- SEGALLA, M. V.; CARAMASCHI, U.; CRUZ, C. A. G.; GRANT, T.; HADDAD, C. F. B.; LANGONE, J.; GARCIA, P. C. A. Brazilian amphibians: list of species. *Herpetologia Brasileira*, v. 3, p. 37-48, 2014.
- SILVA, A.P. Emissões de Mercúrio na Queima de Amálgama: Estudo da contaminação de ar, solos e poeira em domicílios em Poconé, MT. *Série Tecnologia Ambiental*, 13, 40p. Rio de Janeiro: CETEMICNPq, 1996.
- SIMMONS, N. B.; VOSS, R. S. The Mammals of Paracou, French Guiana: a Neotropical lowland rainforest fauna. Part I. Bats. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, v. 237, p. 1-219, 1998.
- Spiegel, MR; Schiller, J; Srinivasan, A. Probabilidade e estatística. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- SUTER, G. W. II. 1999. Developing conceptual models for complex ecological risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*. N. 2, v. 5, pp.375-396, 1999.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 1989a Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA/540/1-89/002). PART A, Volume I. Última atualização em Dezembro de 1989 (<https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>).
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 1989c. EPA - Methods for Evaluating Attainment of Cleanup Standards For Soils and Solid Media, Washington, DC, EUA.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 1991. “Guidance for Data Useability in Risk Assessment (Part A)”. Washington, DC. Dezembro de 1991.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 1993. Wildlife Exposure Factors Handbook. EPA/600/R-93/187a.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2000. Bioaccumulation Testing and Interpretation for the Purpose of Sediment Quality Assessment - Status and Needs. EPA-823-R-00-001. February.

- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2001a. Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA 540-R-02-002). PART A, Volume III. Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment. Última atualização em Dezembro de 2001 (<https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>).
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2001b. Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA/540/R-92/003). PART B. Developing Chemical-Specific Preliminary Remediation Goals Based on Protection of Human Health. Última atualização em Dezembro de 2001 (<https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>).
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2001c. Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA/9285.7-01C). PART C. Risk Evaluation of Remedial Alternatives. Última atualização em Outubro de 2001 (<https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>).
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2002. “Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection”. Washington, DC. 2002.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2002. Calculating Upper Confidence Limits for Exposure Point Concentrations at Hazardous Waste Sites U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2002. Última atualização em Setembro de 2002.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2002. Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA/9285.7-47). PART D. Standardized Planning, Reporting and Review. Última atualização em Junho de 2002 (<https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>).
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2004. Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA/540/R/99/005). PART E. Dermal Risk Assessment. Última atualização em Julho de 2004 (<https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>).
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2005. Field Sampling Procedures Manual. New Jersey. Agosto de 2005.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2005. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/630/P-

03/001F, 2005. Última atualização em Março de 2005
(<https://www.epa.gov/risk/guidelines-carcinogen-risk-assessment>).

United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2005. Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies. Nevada, 2005.

United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2006. “Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners”. EPA/240/B-06/003 Washington, DC. Fevereiro 2006. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/900B0D00.PDF?Dockey=900B0D00.PDF>

United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2007. Framework for Metals Risk Assessment, EPA 120/R-07/001. Washington, DC, EUA. Março, 2007.

United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2008. Child-Specific Exposure Factors Handbook (2008, Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-06/096F, 2008. Última atualização em Setembro de 2008 (https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?direntryid=199243).

United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2009. Risk Assessment Guideline for Superfund (RAGS), Human Health Evaluation Manual (EPA/540/R/070/002). PART F. Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment. Última atualização em Janeiro de 2009 (<https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>).

United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2011. Exposure Factors Handbook, Volumes I, II e III. National Center for Environmental Assessment (EPA/600/R-09/052F). Última atualização em Setembro de 2011 (<https://www.epa.gov/expobox/about-exposure-factors-handbook>).

United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2014. Framework for Human Health Risk Assessment to Inform Decision Making. Washington, DC, EUA, 2014.

United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2014. Operating Procedure - Soil Sampling, SESDPROC-300-R3. Athens, Georgia, EUA. 21 de agosto, 2014.

United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2015. ProUCL Version 5.1.002, Technical Guide, Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations. Prepared by the Office of Research and Development. Publication No. EPA/600/R-07/041. Washington, DC. 2015.

- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2015. Region 4 Ecological Risk Assessment Supplemental Guidance Interim Draft. Region 4.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2016. “Weight of Evidence in Ecological Assessment”. Washington, DC. Dezembro de 2016.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2017. “Validation Assessment of In Vitro Arsenic Bioaccessibility Assay for Predicting Relative Bioavailability of Arsenic in Soils and Soil-like Materials at Superfund Sites”. OLEM 9355.4-29. Washington, DC. 20 de abril de 2017. Disponível em: <https://semspub.epa.gov/work/HQ/196751.pdf>
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2017a. National Functional Guidelines for Inorganic Superfund Methods Data Review. EPA-540-R-2017-001. January. <https://www.epa.gov/clp/national-functional-guidelines-inorganic-superfund-methods-data-review-ism024>
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2017d. ProUCL Software, Software Downloads. <https://www.epa.gov/land-research/proucl-software>
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2018. “Region 4 Ecological Risk Assessment Supplemental Guidance”. Washington, DC. Março de 2018. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/era_regional_supplemental_guidance_report-march-2018_update.pdf.
- United State Environmental Protection Agency (US.EPA). 2019. “Regional Screening Levels (RSLs) - Generic Tables”. Washington, DC. Maio de 2019. Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>.
- VARI, R.P. 1989b. Systematics of the Neotropical characiform genus *Psectrogaster* Eigenmann and Eigenmann (Pisces, Characiformes). *Smithsonian Contributions to Zoology*, 481: 1-43.
- VARI, R.P. 1989d. Systematics of the neotropical characiform genus *Curimata* Bosc (Pisces: Characiformes). *Smithsonian Contributions to Zoology*, 444: 63p.
- VIZOTTO, L. D.; TADDEI, V. A. Chave para a determinação de quirópteros brasileiros. São José do Rio Preto: Francal, 1973. 72p.

- Weir S.M., S. Yu, L.G. Talent, J.D. Maul, T.A. Anderson, and C.J. Salice. 2015. Improving reptile ecological risk assessment: oral and dermal toxicity of pesticides to a common lizard species (*Sceloporus occidentalis*). *Environ Toxicol. Chem.* 34(8):1778-86.
- WHO. World Health Organization. Effective Communications: Participant Handbook. WHO Document Production Services. Geneva, Switzerland, 2015.
- WILSON, D. E.; REEDER, D. M. *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference*. 3rd Ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2005. 2142 p.
- WONG-VALLE, J. 1989e. "Estimation of Relative bioavailability of Manganese Sources for Sheep". *J. Anim. Sci.* 1989. 67:2409-2414.

APÊNDICE 01

Metodologia para Análise de Suficiência e Representatividade

1. Análise de plano de amostragem

A análise do plano de amostragem de cada campanha experimental é um critério a ser analisado quando se objetiva a comparabilidade e possível agrupamento de dados de fontes distintas. O documento “*Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection*” publicado pela US EPA (2002) afirma que a associação de planos amostrais direcionados com planos não-viesados pode prover um cenário robusto para tomada de decisões em análises de dados ambientais. Além disso, “*Guidance for Data Usability in Risk Assessment - Part A*” (1991) indica que a associação de amostragem sistemática com direcionada é a melhor estratégia para identificação de *hotspots*. No contexto de avaliação de risco (entre outras investigações mais detalhadas), a identificação de *hotspots* é essencial para o desenvolvimento de medidas de controle, remediação e/ou monitoramento.

Para as análises de comparabilidade de planos amostrais em matrizes sem continuidade espacial, o procedimento de análise será feito comparando o plano de amostragem proposto nas diferentes fontes de dados. Em caso de amostragens que também considerem espacialidade (como pontos gerados em malhas sistemáticas) e/ou direcionamentos pertinentes ao estudo, o quesito análise do plano de amostragem será dado como válido entre as fontes analisadas.

1.1. Metodologia de amostragem

A comparação dos métodos de coleta, manuseio e transporte de amostras das fontes de dados distintas será feita a fim de garantir que as amostras de qualquer que seja a fonte foram coletadas de maneira padronizada e com controle de qualidade do processo, ainda que o procedimento seguido não seja o mesmo para todas as fontes. Já os métodos de análise e limite de quantificação laboratorial serão comparados visando à máxima confiabilidade dos resultados apresentados para todos os parâmetros analisados nas fontes.

Para as análises comparabilidade o procedimento de análise será feito comparando os métodos amostrais propostos nas diferentes fontes de dados.

1.2. Temporalidade de dados

As estratégias para desenvolvimento e análise de planos de amostragem são alteradas conforme a variabilidade da matriz analisada. As variações nas medições são diferentes ao longo do tempo quando se analisam solo superficial, água superficial e sedimentos. Como indicado em “*Guidance for Data Usability in Risk Assessment - Part A*” (1991), na página 64 - Tabela 41, para analisar a qualidade e propriedades físicas do solo, a variação relativa ao quesito temporal é de menor importância. Já em se tratando de água superficial, a indicação de influência da temporalidade na variação dos dados é tomada como “usualmente grande”.

No escopo da presente metodologia, portanto, a matriz solo superficial será dada como válida do ponto de vista de temporalidade entre fontes de dados distintas. A mesma suposição será adotada para a matriz água subterrânea.

Para água superficial e sedimentos o quesito temporalidade será tratado em maior detalhe, de acordo com os procedimentos indicados na metodologia dos subitens seguintes. Ao longo das análises, as matrizes que possuírem mais de uma medição ao longo do tempo para as mesmas localizações serão denominadas fontes de dados “temporais”. Usualmente, tais fontes provêm de programas de monitoramento, como é o caso de dados do IGAM. Em contrapartida, fontes de dados que possuírem uma única medição no tempo por localização serão denominadas fontes “estáticas” de dados.

1.2.1. Definição de janela de coleta de dados para avaliação

O Guia Nacional de Coletas e Preservação, da ANA (2011), indica que o período chuvoso impacta a coleta de amostra de água bruta e sedimento, pois “em rios, ocorre deposição de sedimentos finos no período da seca e lavagem desse material nas chuvas”. Uma vez impactando a coleta e, portanto, os resultados amostrais provenientes da análise química, a possibilidade de agrupar os dados (tendo todos outros critérios de agrupamento válidos) deverá ser feita considerando a sazonalidade do regime pluviométrico local.

De acordo com o site da ANA, o regime pluviométrico da Bacia do Rio Paraopeba é caracterizado por dois períodos bem distintos. O período chuvoso que se estende de outubro a março, com maiores índices no mês de dezembro, no qual a precipitação varia de 800 a 1.300 mm; e o período seco que se estende de abril a setembro, com estiagem mais crítica de junho a agosto, com precipitação variando entre 150 a 250 mm. Uma vez que o regime pluviométrico afeta a coleta de amostras de água e sedimentos e, portanto, os resultados da análise química, para cada matriz e região serão analisadas as datas de coleta de amostras para as fontes de dados.

Para a presente metodologia proposta, dados coletados entre os meses de outubro a março serão considerados dentro do período chuvoso. Já aqueles coletados entre os meses de abril a setembro serão considerados provenientes do período seco.

A presente metodologia se baseia no entendimento de que dados com variação temporal significativa (como é o caso de água superficial e sedimentos) devam ser analisados em datas de coleta comparáveis (similares). Dessa forma, para avaliação de suficiência por meio dos testes de hipótese e outras análises, a fonte estática com maior quantitativo de amostras definirá a janela de coleta para avaliação dos resultados.

Uma vez definida a janela de coleta para avaliação dos resultados será realizado o procedimento de transformação de dados provenientes de fontes temporais em dados estáticos equivalentes para cada ponto de coleta.

Embora os testes inferenciais utilizados não considerem a disposição espacial dos pontos de coleta em sua formulação, a espacialidade é um parâmetro essencial na caracterização do meio físico, especialmente em áreas de estudo de grande extensão e, portanto, deve ser considerada no âmbito da avaliação de suficiência. A consideração de todas medições temporais nos testes como “elementos diferentes” (aumentando o número de elementos na amostra “n”) pode levar a interpretações/extrapolações distorcidas para o comportamento da região avaliada como um todo.

As medições temporais para cada ponto serão, portanto, transformadas em um único valor, representativo da série de medições para aquela localidade na janela de coleta avaliada. O procedimento de transformação das medições temporais é descrito nos tópicos a seguir.

1.2.2. Transformação de dados temporais em “estáticos equivalentes”

O procedimento de transformação de dados provenientes de fontes temporais em dados estáticos equivalentes (fixada uma janela de coleta para avaliação) pode ser explicado a partir dos seguintes tópicos: análise exploratória da série histórica, análise de sazonalidade, análise de tendência, análise de regressão e critério de transformação de dados temporais em estáticos equivalentes.

1.2.2.1. Análise exploratória da série histórica

A primeira etapa da análise de temporalidade consistirá da análise exploratória da série de dados temporais disponível. Em um primeiro momento, uma análise sobre a porcentagem de quantificação de dados será realizada para cada ponto (determinado a partir de localização no espaço), analito e fase (total ou dissolvido). Para os pontos, analitos e fases que apresentarem detecção considerada aceitável para aplicação da metodologia de suficiência, uma análise gráfica será feita considerando as seguintes opções: série histórica das concentrações por analito e fase (sem distinção entre pontos), gráficos *boxplot* com distinção entre períodos (com distinção entre pontos dentro de cada período) e gráficos *boxplot* para cada ponto, analito e fase (com distinção de períodos para cada ponto).

As diferentes representações serão utilizadas de maneira a auxiliar no entendimento do comportamento das concentrações relativo a cada ponto bem como dos pontos inseridos no contexto da região investigada.

1.2.2.2. Análise de sazonalidade

Uma vez selecionados os dados com quantificação considerada adequada e a partir da interpretação qualitativa dos comportamentos fornecidos pela análise exploratória da série histórica, a sazonalidade dos dados será testada.

A sazonalidade será verificada a partir do resultado entre períodos (seco e chuvoso) do teste não-paramétrico U de Mann-Whitney (1947). Esse teste analisa se dois grupos independentes de dados foram ou não extraídos da mesma população sob a hipótese nula de que ambos grupos possuem a mesma medida de tendência central e hipótese alternativa de que os grupos estão centrados em medidas diferentes. A significância adotada nas análises será de 5%.

Assim, quando a hipótese inicial é rejeitada ($p\text{-valor} < 0.05$) haverá indicação de diferença significativa estatisticamente entre as tendências centrais dos dois grupos de dados, confirmando o comportamento distinto dos grupos analisados (nesse caso, os períodos). Quando a hipótese inicial não é rejeitada ($p\text{-valor} > 0.05$) não se poderá afirmar que os dados sejam provenientes de populações diferentes e, portanto, não se poderá afirmar que os resultados entre períodos apresentem diferença. Dessa forma, se assumirá que não há sazonalidade para o analito, ponto, fase avaliado. Há de se enfatizar que não rejeitar a hipótese inicial do teste não significa “aceitá-la”.

1.2.2.3. Análise de tendência

Após a discriminação de analitos, pontos e fases que apresentam (ou não) sazonalidade, testes de tendência monotônica serão conduzidos. Para isso o teste de Mann-Kendall (1994) será aplicado de acordo com a sazonalidade da resposta.

Para configurações que não apresentarem sazonalidade o teste será conduzido em seu formato original. No caso de analitos, pontos e fases com sazonalidade da resposta, o teste Sazonal de Mann-Kendall será realizado. Nele, uma estatística é computada para cada “estação mensal” e então, por meio da ponderação das estatísticas para as medições de cada mês separadamente, uma estatística global é computada.

Em ambos os testes, a hipótese nula será rejeitada quando $p\text{-valor}$ das análises for menor que o nível de significância adotado (5%) e o sinal da estatística calculada indicará se a tendência observada é crescente ou decrescente no tempo.

1.2.2.4. Análise de regressão

Para os analitos, pontos e fases que apresentarem tendência monotônica estatisticamente significativa uma análise de regressão exponencial será realizada. Nela, um modelo exponencial

será ajustado aos dados de forma a buscar a parametrização do comportamento das concentrações em função do tempo.

Para analitos, pontos e fases que apresentarem sazonalidade, um modelo será conduzido separadamente para cada período, enquanto configurações não-sazonais serão ajustadas em um único modelo.

O uso do modelo de regressão para transformação de dados temporais para a janela de coleta fixada será dado a partir da significância dos coeficientes ajustados e, por consequência, do modelo de regressão em si. Dessa forma, um teste será conduzido para cada coeficiente do modelo com significância adotada de 15%. Em casos de $p\text{-valor} < 0.15$, o modelo ajustado será considerado válido para previsão das concentrações em função do tempo.

1.2.2.5. Critérios para transformação de dados temporais em “estáticos equivalentes”

A partir dos tópicos conduzidos anteriormente, uma tabela de sumário de resultados será apresentada. Nela constarão os principais resultados dos testes estatísticos, parâmetros, informações e medidas dos dados. A transformação dos dados temporais em estáticos equivalentes será avaliada a partir dos seguintes critérios:

- 1** Configurações (analito, ponto e fase) com tendência e regressão significativas e com sazonalidade.
- 2** Configurações (analito, ponto e fase) com tendência e regressão significativas sem sazonalidade.
- 3** Configurações (analito, ponto e fase) com tendência e sem regressão significativas e com sazonalidade.
- 4** Configurações (analito, ponto e fase) com tendência e sem regressão significativas e sem sazonalidade.
- 5** Configurações (analito, ponto e fase) sem tendência significativa e com sazonalidade.
- 6** Configurações (analito, ponto e fase) sem tendência significativa e sem sazonalidade.

Para as condições 1. e 2. os dados temporais serão transformados em estáticos equivalentes por meio do uso do modelo de regressão ajustado para a data intermediária dentro da janela de coleta fixada. Dessa forma, o resultado de concentração que será utilizado na

comparabilidade de dados e nos testes de hipótese para o analito, ponto e fase avaliado será tal que considerará a série histórica dos dados com confirmações de comportamentos de tendência, sazonalidade e ajuste adequado. Para a condição 1. serão gerados dois modelos de regressão, um para cada período.

Vale ressaltar que os modelos gerados considerarão o tempo como variável numérica que tem origem no primeiro dia do ano de 1970 e sua unidade será dada pelos “dias” anteriores ou posteriores a essa referência. Dessa forma, de posse dos coeficientes de regressão (que serão apresentados nas tabelas considerando a forma $\ln y = a + bt$), o valor de concentração de uma configuração será dado adicionando à variável “t” o valor numérico da data transformada em dias a partir da origem considerada e realizando as manipulações algébricas convenientes.

Para as condições 3. e 5. a transformação dos dados temporais em estáticos equivalentes se dará por meio da consideração da mediana de cada período. Dessa forma, embora o comportamento não esteja parametrizado (seja pela ausência de tendência ou de um ajuste adequado), o valor adotado considerará a sazonalidade observada (pela consideração de um valor para cada período) e também a série histórica dos dados medidos, uma vez que a mediana é uma estatística de tendência central de dados dependente dos resultados da amostra. A adoção da mediana (e não da média amostral) se justifica a partir do comportamento desta frente a valores extremos (frequentes em séries temporais de dados ambientais). As tabelas-sumário apresentarão resultados com a média dos valores para cada configuração avaliada, tornando possível observar a comparação dos resultados dessas medidas em função da presença de valores extremos e/ou dispersões elevadas.

Para as condições 4. e 6. a transformação dos dados temporais em estáticos equivalentes se dará por meio da consideração da mediana do conjunto de dados total, uma vez que não há diferença significativa estatisticamente entre períodos.

1.3. Comparabilidade estatística de dados

A comparabilidade estatística de dados é discriminada em duas situações: quando se dispõe de dois conjuntos de dados a serem comparados; quando se dispõe de três ou mais conjuntos de dados.

1.3.1. Comparabilidade estatística de dois conjuntos de dados

Para o caso de comparação estatística de duas fontes distintas de dados o teste não-paramétrico U de Mann-Whitney (1947) será conduzido. Quando a hipótese inicial não é rejeitada ($p\text{-valor} > 0.05$) não se pode afirmar que os dados sejam provenientes de populações

diferentes e, portanto, o agrupamento será dado como possível e executado para os cálculos. Há de se enfatizar que não rejeitar a hipótese inicial do teste não significa “aceitá-la”.

1.3.2. Comparabilidade estatística de três ou mais conjuntos de dados

Para o caso de comparação estatística com três ou mais fontes de dados distintas o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (1952) será conduzido. O teste de Kruskal-Wallis é uma extensão do teste U de Mann-Whitney. Esse teste analisa se o conjunto de três ou mais grupos independentes foram ou não extraídos de uma mesma população sob a hipótese nula de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais e hipótese alternativa de que ao menos duas populações possuem funções de distribuição diferentes. A significância adotada nesse teste será de 5%.

Assim, quando a hipótese inicial é rejeitada ($p\text{-valor} < 0.05$) haverá indicação de diferença significativa estatisticamente entre as funções de distribuição de ao menos dois grupos de dados. Nesse caso sabe-se que ao menos um dos grupos é distinto dos demais, porém não se tem a informação de qual/quais grupo(s) seria/seriam.

O procedimento de comparações múltiplas será então realizado por meio do teste de Nemenyi. O teste de Nemenyi é um teste *post-hoc*, ou seja, é um teste usado após a aplicação de testes não-paramétricos com três ou mais fatores, como o de Kruskal-Wallis. O teste consiste em fazer comparações em partes com o intuito de verificar qual (quais) dos fatores diferem entre si. Cada grupo é comparado em partes e o p-valor resultante em cada comparação é utilizado para concluir o teste. Se o p-valor de uma comparação é menor que 0.05 há diferença estatisticamente significativa entre os grupos comparados. Em caso de p-valores maiores que 0,05 não há evidências de diferenças significativas, tornando possível o agrupamento de dados. No contexto das análises da presente metodologia, quando utilizados, os agrupamentos possíveis são dados em função da(s) fonte(s) com maior quantitativo de elementos. Ou seja, ao avaliar as comparações múltiplas o cenário com maior quantidade de elementos semelhantes será adotado.

Quando a hipótese inicial do teste de Kruskal-Wallis não for rejeitada ($p\text{-valor} > 0.05$) não se poderá afirmar que os dados sejam provenientes de populações diferentes e, portanto, o agrupamento entre todas as fontes será dado como possível e executado para os cálculos. Há de se enfatizar que não rejeitar a hipótese inicial do teste não significa “aceitá-la”.