

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS  
AMBIENTAIS

DIOGO SOARES DE MELO FRANCO

**PROPOSTA DE METODOLOGIA MULTICRITÉRIO COMO FERRAMENTA PARA  
FORMULAÇÃO E EXECUÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA BARRAGENS  
DE MINERAÇÃO E INDÚSTRIA EM MINAS GERAIS**

Belo Horizonte

2019

DIOGO SOARES DE MELO FRANCO

**PROPOSTA DE METODOLOGIA MULTICRITÉRIO COMO FERRAMENTA PARA  
FORMULAÇÃO E EXECUÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA BARRAGENS  
DE MINERAÇÃO E INDÚSTRIA EM MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Márcia Magela Machado

Belo Horizonte

2019

F825p  
2019

Franco, Diogo Soares de Melo.

Proposta de metodologia multicritério como ferramenta para formulação e execução de políticas públicas para barragens de mineração e indústria em minas gerais [manuscrito] / Diogo Soares de Melo Franco. – 2019.

110 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Maria Márcia Magela Machado.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2019.

Bibliografia: f. 104-110.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Barragens e açudes – Quadrilátero Ferrífero (MG) – Teses. 3. Minas e recursos minerais – Teses. 4. Políticas públicas – Teses. 5. Análise multivariada – Teses. I. Machado, Maria Márcia Magela. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



## FOLHA DE APROVAÇÃO

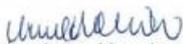
**PROPOSTA DE METODOLOGIA MULTICRITÉRIO COMO FERRAMENTA PARA FORMULAÇÃO E EXECUÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA BARRAGENS DE MINERAÇÃO E INDÚSTRIA EM MINAS GERAIS**

### **DIOGO SOARES DE MELO FRANCO**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 27 de maio de 2019, pela banca constituída pelos membros:

  
Prof. Maria Marcia Magela Machado - Orientadora  
UFMG

  
Prof. Ursula Ruchkys de Azevedo  
UFMG

  
Prof. Paulo de Tarsó Amorim Castro  
UFOP

Belo Horizonte, 27 de maio de 2019.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, que me criou em um ambiente que valoriza a educação, o conhecimento e o pensamento crítico.

À minha mãe pelo incentivo e suporte, sem os quais esse trabalho não seria possível.

Aos meus colegas do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela contribuição na minha formação pessoal e profissional.

À minha orientadora, Professora Dr<sup>a</sup>. Maria Márcia Magela Machado, pelo apoio antes e durante o mestrado, e também pelas orientações valiosas para o desenvolvimento desta proposta.

Aos demais professores do ICG/UFMG pelas aulas, diretrizes e lições, que certamente me guiaram para uma nova forma de enxergar a realidade e encarar seus desafios.

Aos colegas Alessandro Ribeiro Campos e Eder Pereira, sem os quais não seria possível alcançar os resultados obtidos.

A toda a equipe da Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

## RESUMO

Minas Gerais, de acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2016), detêm 43% das barragens de rejeito de mineração cadastradas no país. É também o estado com o maior histórico de acidentes de grande porte, tendo como consequência a perda de vidas humanas, contaminação do solo e recursos hídricos e outros impactos ambientais. Para atuar no monitoramento dessas estruturas, a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, órgão vinculado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais, e a Agência Nacional de Mineração, órgão Federal, possuem programas de acompanhamento das condições de segurança de barragens. O presente trabalho tem como objetivo propor uma nova metodologia para o monitoramento das barragens de rejeito de mineração e resíduos de indústria em Minas Gerais. Para tanto, foi utilizado método baseado na análise multicritério, o que possibilita a consideração e ponderação de fatores considerados relevantes para a avaliação destas estruturas. Assim, os critérios considerados no modelo representam um rol abrangente de informações associadas as barragens, incluindo características estruturais (altura, volume), potenciais efeitos cumulativos e sinérgicos e possíveis áreas de impacto diante de eventual rompimento. Os resultados preliminares apontam a viabilidade da proposta como subsídio na tomada de decisões na formulação e execução de políticas públicas referentes a barragens, em especial no que se refere aos instrumentos de licenciamento e fiscalização ambiental, bem como para a elaboração de normas específicas para o setor.

**Palavras-chave:** Barragens, políticas públicas, modelagem, multicritério.

## ABSTRACT

Minas Gerais, according to the National Water Agency (ANA, 2016), hold 43% of the mining tailings dams registered in the country. It is also the state with the largest history of large-scale accidents, resulting in deaths, contamination and various environmental impacts. To operate in the management and monitoring of these structures, the State Environmental Foundation - FEAM, an agency linked to the State Secretariat of Environment and Sustainable Development of Minas Gerais, and the National Department of Mineral Production - DNPM, a federal government body recently transformed in the National Mining Agency (ANM), have programs to monitoring the safety conditions of these structures. The present research aims to propose a new methodology for the management and monitoring tailings dams and industrial waste dams in Minas Gerais. For this, a multicriteria analysis method was used, which allows the use of factors considered relevant for the management of these structures, considering that these factors share the same space. Thus, the criteria considered in the model represent a comprehensive list of information associated with structures, including structural characteristics (height, volume), potential cumulative and synergistic effects and possible areas of impact in the event of a break. The preliminary results point to the feasibility of the proposal as a subsidy for decision-making process in the formulation and execution of public policies related to dams management, in particular, regarding environmental permits and licenses and inspection, as well as for the elaboration of specific regulations for the sector.

**Keywords:** Tailings dams, public policies, modeling, multicriteria.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área diretamente impactada Rompimento Córrego do Feijão .....	25
Figura 2. Avanço da Lama após o rompimento .....	26
Figura 3. Parâmetros para classificação de barragens – aspectos físicos .....	34
Figura 4. Parâmetros para classificação de barragens – aspectos ambientais .....	34
Figura 5. Fluxo da tomada de decisões suportada pela modelagem .....	54
Figura 6. Representação Impacto Ambiental Cumulativo .....	59
Figura 7. Representação Efeito Sinérgico .....	60
Figura 8. Localização barragens no Quadrilátero Ferrífero .....	61
Figura 9. Topografia do QF .....	63
Figura 10. Diagrama da metodologia utilizada .....	68
Figura 11. Representação variável outra barragem à montante .....	73
Figura 12. Variável barragens montante ou jusante .....	74
Figura 13. Ponto de confluência do material em caso de rompimento .....	75
Figura 14. Variável contexto único de drenagem local .....	76
Figura 15. Representação variável comunidade à jusante .....	78
Figura 16. Variável núcleo populacional à jusante .....	79
Figura 17. Representação represa à jusante .....	81
Figura 18. Variável distância de reservatórios .....	82
Figura 19. Variável classe .....	83
Figura 20. Variável situação de estabilidade .....	85
Figura 21. Variável volume .....	86
Figura 22. Tipos de métodos construtivos de alteamento de barragens .....	87
Figura 23. Variável barragens montante no QF .....	90
Figura 24. Classificação das barragens para priorização da fiscalização .....	91
Figura 25. Barragem auxiliar B1 em Igarapé - 13ª prioridade .....	98
Figura 26. Barragem do Quéias em Brumadinho 10ª prioridade .....	99
Figura 27. Barragem Oeste em Itatiaiuçu 2ª prioridade .....	99
Figura 28. Barragem 3 em Itatiaiuçu 4ª prioridade .....	100

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Acidentes com barragens em Minas Gerais.....	27
Quadro 2. Fundamentos PNSB.....	29
Quadro 3. Atribuições PNSB.....	31
Quadro 4. Classes de potencial de dano ambiental.....	35
Quadro 5. Periodicidade da auditoria de segurança.....	35
Quadro 6. Conclusão auditorias de segurança de barragens.....	41
Quadro 7. Número de estruturas fiscalizadas pela Feam de 2014 a 2017.....	42
Quadro 8. Principais aspectos da gestão de barragens no mundo.....	47
Quadro 9. Maiores acidentes com barragens no mundo.....	51
Quadro 10. Comparativo barragens MG x Barragens no QF.....	61
Quadro 11. Unidades de Conservação no QF.....	64
Quadro 12. Pesos estabelecido para as variáveis.....	70
Quadro 13. Vantagens e desvantagens dos três tipos de barragens de rejeitos.....	88
Quadro 14. Estruturas classificadas como Prioridade 1.....	93
Quadro 15. Score final barragens x ações do Ministério Público.....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critérios para classificação das barragens.....	33
Tabela 2. Orçamento para gestão de barragens na Lei Orçamentária Anual .....	39

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolução do número de Barragens cadastradas e Minas Gerais .....	37
Gráfico 2. Barragens cadastradas 2017 por classe.....	37
Gráfico 3. Tipologia das barragens em Minas Gerais .....	38
Gráfico 4. Estruturas por classe e tipologia das barragens em MG .....	38
Gráfico 5. Condição de Estabilidade das Barragens em Minas Gerais .....	41
Gráfico 6. Municípios do QF com maior número de barragens.....	62
Gráfico 7. Divisão por tipologia das barragens localizadas no QF .....	62
Gráfico 8. Dispersão das barragens em relação aos núcleos populacionais .....	79
Gráfico 9. Condição de estabilidade das barragens no QF .....	85
Gráfico 10. Barragens à montante x municípios.....	89
Gráfico 11. Situação das barragens à montante em MG .....	89
Gráfico 12. Empresas que detêm barragens a montante em MG .....	90
Gráfico 13. Número de barragens por categoria .....	92
Gráfico 14. Barragens Prioridade 1 x Municípios .....	94
Gráfico 15. Barragens Prioridade 2 x municípios .....	95
Gráfico 16. Barragens Prioridade 3 x Municípios .....	95
Gráfico 17. Barragens Prioridade 4 x Municípios .....	96
Gráfico 18. Barragens Prioridade 5 x Municípios .....	97

## LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

ANM – Agência Nacional de Mineração

BDA – Banco de Declarações Ambientais

CBDB – Comitê Brasileiro de Barragens

*CDA – Canadian Dam Association*

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

*ICOLD – International Commission on Large Dam*

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

LOA – Lei Orçamentária Anual

PSNB – Política Nacional de Segurança de Barragem

QF – Quadrilátero Ferrífero

SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SISEMA – Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
3.1	Políticas públicas de barragens.....	17
3.1.1	Brasil.....	18
3.1.2	Outros países .....	42
3.2	Modelagem como ferramenta para tomada de decisões.....	53
3.2.1	Análise multicritério .....	56
3.3	Sinergia e Cumulatividade nos impactos Ambientais .....	58
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	61
4.1	Panorama ambiental .....	64
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	67
5.1.	Materiais.....	67
5.2.	Método .....	68
5.3.	Apresentação das variáveis .....	70
5.3.1	Variáveis de Contexto Espacial.....	71
5.3.1.1	Outra barragem à Montante e Jusante.....	71
5.3.1.2	Agrupamento com Contexto Único de Drenagem Local.....	74
5.3.1.3	Distância a núcleos populacionais.....	76
5.3.1.4	Distância a reservatório à jusante .....	80
5.3.2	Variáveis Cadastrais.....	82
5.3.2.1	Classe .....	82
5.3.2.2	Situação de Estabilidade .....	84
5.3.2.3	Volume .....	86
5.3.2.4	Método Construtivo .....	87
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	91
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	101
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	104

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão de políticas públicas referentes a barragens de contenção rejeito de mineração e de resíduos industriais tem se tornado cada vez mais um desafio para as autoridades governamentais. Além de se tratar, do ponto de vista da engenharia, de estruturas de alta complexidade, o que por si só já demanda grandes investimentos financeiros na sua concepção, execução e operação, adicionalmente, pode-se considerar igualmente complexo o fato das barragens estarem sujeitas a um conjunto de regras públicas, parte delas do ponto de vista da produção mineral, parte delas do ponto de vista da regularização ambiental.

No Brasil, após cerca de 30 anos de debates (MELLO e PIASENTIN, 2011), em setembro de 2010, o governo federal publicou a Lei 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). A norma se aplica às barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais.

Em seus fundamentos, a Política Nacional estabelece, entre outros pontos, que a população deve ser informada e estimulada a participar, direta ou indiretamente, de ações preventivas e emergenciais, que o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garantir sua estabilidade, e que a segurança de uma barragem influi diretamente na sua sustentabilidade e no alcance de seus potenciais efeitos sociais e ambientais. (PNSB, 2010).

Na definição dos responsáveis pela fiscalização da segurança dessas estruturas, a Lei estabelece que, no caso de barragens de rejeito de mineração, o órgão responsável é a entidade outorgante de direitos minerários, e no caso das barragens para fins de disposição de resíduos industriais é a entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e de operação.

No estado de Minas Gerais, constata-se um progresso na regulamentação, inclusive anterior à Política Nacional, no que tange às barragens de rejeitos, com forte influência da ocorrência de acidentes e da atuação de órgãos de como o Ministério Público Estadual nesse processo (MELLO e PIASENTIN, 2011). Ilustrando, após o acidente com a barragem de rejeitos da Mineração Rio Verde, em 2001, a Fundação

Estadual do Meio Ambiente (FEAM) coordenou a elaboração de regulamentação específica, que foi discutida no âmbito do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), entidade paritária que possui representantes do setor produtivo, academia, organizações não governamentais e poder público.

As regras resultantes desse processo estão hoje na Deliberação Normativa (DN) Copam nº 62 de 17 de Setembro de 2002, que dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais, na Deliberação Normativa nº 87 de 17 de junho de 2005, que complementa a norma anterior e na Deliberação Normativa nº124 de outubro de 2008. No entanto, após quase dezesseis anos da primeira norma no nível estadual, seis acidentes de grandes proporções ocorreram em Minas Gerais. Desta forma, torna-se fundamental a avaliação da atual política no sentido de verificar sua eficácia e propor ferramentas para sua melhoria.

Em 2019, como consequência direta do rompimento da Barragem I da empresa Vale, localizada na Mina Córrego do Feijão na cidade de Brumadinho, o Governo do Estado de Minas Gerais sancionou, em 25 de fevereiro de 2019, a Lei 23.291 que institui a política estadual de segurança de barragens. Um dos pontos principais da Lei é a prioridade para as ações de prevenção, fiscalização e monitoramento pelos órgãos e pelas entidades ambientais competentes do Estado. Desta forma, a Lei estabelece que o órgão ou a entidade competente do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA) de Minas Gerais, fará vistorias regulares, em intervalos não superiores a um ano, nas barragens com alto potencial de dano ambiental instaladas no Estado, emitindo laudo técnico sobre o desenvolvimento das ações a cargo do empreendedor.

Nesse contexto, o estabelecimento de uma nova metodologia como ferramenta para formulação e execução de políticas públicas para barragens de rejeito de mineração servirá como mecanismo para que o poder público execute de forma satisfatória a legislação. A aplicação do método de análise multicritério, fundamentado em sistema de informações geográficas permite avaliar e testar critérios para, por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento, estruturar um modelo para subsidiar a tomada de decisões.

## 2. OBJETIVOS

Avaliar a Política Pública de Gestão de Barragens em Minas Gerais e propor novo modelo para seu aperfeiçoamento e propor uma ferramenta complementar de gestão para auxiliar na tomada de decisões por parte dos órgãos fiscalizadores, estabelecendo subsídios para prioridades para atividades de fiscalização de barragens baseada em ferramenta sistêmica de análise e gestão ambiental.

Adicionalmente, o presente o trabalho também poderá funcionar como ferramenta para melhorias específicas nas políticas públicas, em especial para:

- Estabelecer ferramenta de suporte para definição de exigências e condicionantes ambientais, no âmbito do licenciamento ambiental, diferenciadas por estrutura de acordo com o novo método proposto;
- Estimular à regularização ambiental de empreendimentos atualmente à margem da Lei;
- Promover a melhor utilização de recursos públicos e alocação de recursos humanos;
- Promover maior transparência nas ações envolvendo barragens de rejeito de mineração e indústria.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

A fundamentação teórica do trabalho está ancorada em três eixos. O primeiro apresenta o histórico da gestão de barragens de rejeitos no Brasil, as legislações Federal e Estadual relacionadas ao setor, o histórico de acidentes ambientais no estado e as políticas públicas de gestão de barragens em Minas Gerais. Será também feita avaliação do cenário internacional referente a gestão de barragens de rejeito.

O segundo eixo avaliará a modelagem de dados ambientais como ferramenta de suporte à tomada de decisão em políticas públicas baseada na abordagem multicritério. Conforme Campos e Soares-Filho (2016, p.1), “o principal papel de um tomador de decisão é acertar positivamente, o que pressupõe o conhecimento das possibilidades e tanto quanto mais aproximado das probabilidades de cada um de seus possíveis resultados, com base nas informações, tempo e recursos disponíveis”.

O terceiro eixo tratará da sinergia e cumulatividade de impactos ambientais, sendo essa uma premissa para a escolha dos critérios utilizados no modelo. Simplificadamente, impactos cumulativos são gerados de outros impactos incrementais de mais de um empreendimento que se acumulam no tempo ou no espaço, resultando em um efeito maior que o efeito do impacto individual de cada empreendimento, sobre um determinado componente, quanto analisado separadamente.

#### **3.1. Políticas públicas de barragens**

E formulação e execução de políticas públicas de barragens de rejeito tem marcado os últimos 80 anos de países com atividade minerária em tudo o planeta. De um modo geral, as regras evoluíram ao longo dos anos marcadas pelo avanço da atividade minerária em si bem como pelos desastres socioambientais decorrentes rompimentos.

Nesse contexto, acidentes em barragens sempre provocaram reações da sociedade, levando a tentativas diversas de regulamentação que determinassem aos proprietários a adoção de providências efetivas de redução de riscos. Nos dias atuais, aspectos de estabilidade das barragens tem permanecido no centro do debate, por

causa de recentes desastres com barragens de rejeitos que ganharam amplo espaço na mídia, com implicações ambientais, humanas e financeiras severas em muitos casos. (DUARTE, 2008).

### **3.1.1. Brasil**

As barragens de rejeitos no Brasil surgiram das atividades de mineração, as quais tiveram seu início em épocas que remontam cerca de 300 anos atrás. Antes até da corrida do ouro no oeste americano, a atividade de mineração de ouro no Brasil já havia se iniciado com a Mina da Passagem, em Mariana. (ÁVILA, 2012)

De acordo com Ruchkys (2007) o ouro primário foi descoberto em Minas Gerais por volta de 1690 no início do século XVII, fez aumentar o número de expedições de exploração e os achados proliferaram rapidamente causando o primeiro grande corrida mineradora da história mundial. Em 1720, foi criada a Capitania de Minas Gerais. Ao fim das primeiras décadas do século XVIII praticamente todo o território das Minas Gerais estava ocupado, havia uma profusão de cidades e vilas em função da disseminação das lavras (MACHADO, 2009).

Em relação aos rejeitos gerados, as atividades de mineração, por muito tempo descartaram seus resíduos na natureza, em cursos d'água ou lançando-os em terrenos adjacentes, formando depósitos sem nenhuma preocupação de ordenação e sistematização. A situação no Brasil não foi diferente do resto do mundo. (USCOLD, 2004)

Entende-se por rejeitos, resíduos resultantes de processos de beneficiamento, a que são submetidos os minérios, visando extrair os elementos de interesse econômico (ESPÓSITO, 2000).

Foi somente a partir do início do século XX, que os pequenos distritos minerários começaram a se desenvolver, atraindo indústrias de apoio e desenvolvendo a comunidade local, abrindo caminho para elaboração das primeiras legislações sobre o gerenciamento de resíduos da mineração. (MELLO e PIASENTIN, 2011).

Precedentes legais gradativamente trouxeram um fim à disposição incontrolada de rejeitos na maioria dos países ocidentais, com a diminuição de práticas

inadequadas que ocorriam até 1930, apesar destas práticas acontecerem até hoje em muitos países em desenvolvimento. Foi a partir dos anos 30 que, para a manutenção da mineração e a mitigação dos impactos ambientais, as indústrias investiram na construção das primeiras barragens de contenção de rejeitos. As barragens construídas até o início do século XX geralmente eram projetadas transversalmente aos cursos d'água, com considerações limitadas apenas para inundações. Conseqüentemente, quando fortes chuvas ocorriam, poucas destas barragens permaneciam estáveis. Raramente existiam engenheiros ou critérios técnicos envolvidos nas fases de construção e de operação. (ÁVILA, 2012)

Na década de 40, a disponibilidade de equipamentos de alta capacidade para movimentação de terras, especialmente em minas a céu aberto, tornou possível a construção de barragens de contenção de rejeitos com técnicas de compactação e maior grau de segurança, de maneira similar às barragens convencionais. (MELLO e PIASENTIN, 2011).

O progresso das tecnologias de implantação de barragens de rejeitos foi sempre entremeado pelos acidentes com rupturas de barragens, os quais sempre foram catalisadores do progresso tecnológico da engenharia de barragens, pela exigência da sociedade de eliminação desses desastres. Assim, na década de 50, muitos dos princípios fundamentais de geotecnia já eram compreendidos e aplicados em barragens de contenção de rejeitos. Em 1965, um terremoto causou rompimento de muitas barragens no Chile, recebendo considerável atenção e tornou-se um fator chave na pesquisa sobre as causas das rupturas. (MELLO e PIASENTIN, 2011).

A partir da década de 80, os aspectos ambientais também cresceram em importância. A atenção foi amplamente voltada para estabilidade física e econômica das barragens, considerando o potencial de dano ambiental dessas estruturas. Segundo Ávila (2012), técnicas de observação do comportamento das barragens durante a operação vieram reforçar a necessidade do controle da segurança em longo prazo. Com o passar do tempo, a produção de rejeitos aumentou, e as áreas para disposição se tornaram cada vez mais escassas, culminando no desenvolvimento dos projetos de engenharia permitindo a construção de barragens com alturas cada vez maiores.

Entretanto, falhas ocorrem, muitas vezes, devido à falta de aplicação adequada dos métodos conhecidos, de projetos mal elaborados, de supervisão deficiente durante a construção, ou negligência das características vitais incorporadas na fase de construção. A ocorrência destes acidentes tem tido grande influência na atitude dos profissionais de geotecnia de barragens, nas ações preventivas, e no estabelecimento de regulamentações específicas sobre a segurança de barragens de rejeitos. (MELLO e PIASENTIN, 2011).

A ruptura de uma barragem correspondente à sua completa desfuncionalidade, com graves consequências ambientais, econômicas e sociais. VIEIRA (2005). No histórico de acidentes reportados pela *International Commission on Large Dam* (ICOLD, 2001), as principais causas de rompimento de barragens são problemas de fundação, capacidade inadequada dos vertedouros, instabilidade dos taludes, falta de controle da erosão, deficiências no controle e inspeção pós-fechamento e falta de dispositivos graduais de segurança ao longo da vida útil da estrutura.

Há registros de oito grandes acidentes envolvendo barragens de rejeitos e resíduos em Minas Gerais. O primeiro deles foi o rompimento da Barragem de rejeitos I da Mina do Fernandinho, da empresa Itaminas Comércio de Minérios, localizada em Itabirito, em 15 de maio de 1986. Houve deslizamento de parte do maciço da estrutura, que possuía cerca de 200 m de comprimento e 40m de altura. Foi lançado na natureza um volume estimado de 350.000 metros cúbicos de rejeitos do beneficiamento de minério de ferro, o que provocou o rompimento de mais três pequenas barragens de decantação de finos e captação de água, situadas à jusante da barragem rompida, além da destruição de tubulações, redes elétricas e outras estruturas da própria mineradora. (FEAM, 2008)

O vazamento do material provocou sérios danos ambientais ao longo do Córrego Fazenda Velha, como a destruição e o assoreamento da mata ciliar na extensão de aproximadamente 10 quilômetros, atingindo também as cabeceiras do Córrego dos Andaimés e do Rio das Velhas. O acidente também provocou a morte de sete operários que trabalhavam na área da barragem. (FEAM,2008).

A partir de então, o DNPM recomendou às empresas de mineração que novas barragens tivessem projetos de construção e manutenção com apresentação da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) e que para as barragens já

existentes deveriam ser apresentados laudos sobre a condição de estabilidade, elaborados por técnicos legalmente habilitados.

O rompimento da Barragem Cava 1 da Mineração Rio Verde S.A, localizada no município de Nova Lima, ocorreu no dia 22 de junho de 2001. O acidente provocou grande carreamento de rejeitos do processamento de minério de ferro, acrescida de solo, troncos, árvores e pneus, atingindo um trecho de aproximadamente 6 km à jusante da barragem. Os impactos ambientais foram considerados de grande magnitude, pois o vazamento atingiu uma área de aproximadamente 43 hectares de mata atlântica preservada no vale do córrego Taquaras, afetando a flora e a fauna da microbacia (FEAM, 2008).

De acordo com a FEAM (2008) um trecho de aproximadamente 1 quilômetro de extensão da estrada de ligação entre a BR 040 e o município de São Sebastião de Águas Claras foi coberto por rejeitos, causando a interrupção do tráfego por alguns dias. A onda de lama provocou a morte de cinco operários que trabalhavam na barragem, assoreou os córregos Taquaras e Fechos, e danificou também a adutora da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), interrompendo o abastecimento público na região.

O rompimento da barragem da Rio Verde Mineração foi determinante para que as entidades envolvidas na avaliação técnica do caso e na gestão das ações pós-acidente sugerissem a discussão de uma proposta de legislação específica para a gestão de segurança de barragens de rejeitos e resíduos, que deu origem às Deliberações Normativas do Copam atualmente em vigor em Minas Gerais.

Em 29 de março de 2003 ocorreu o rompimento da Barragem B, localizada na Fazenda Bom Destino, da IBERPAR Empreendimentos e Participações, proprietária da Florestal Cataguases Ltda, empresa do ramo de silvicultura. Esta barragem foi construída na década de 80 para armazenar o resíduo industrial gerado na produção de celulose – denominado lixívia negra – pela antiga Indústria Matarazzo de Papéis S.A no município de Cataguases.

O acidente ambiental causado pelo rompimento da Barragem B foi de grande extensão, tendo como principal impacto a degradação da qualidade das águas do córrego do Cágado, além do carreamento do resíduo pelas águas do rio Pomba e do rio Paraíba do Sul, até sua foz no Oceano Atlântico, na cidade fluminense de Campos

de Goitacazes. Isso ocasionou a mortandade de peixes, a interrupção do abastecimento público de água em vários municípios do estado do Rio de Janeiro, afetando centenas de pessoas, além de prejuízos em pequenas propriedades rurais situadas nas margens do ribeirão do Cágado, em uma extensão de aproximadamente 106 hectares (FEAM, 2008).

O primeiro acidente envolvendo a barragem São Francisco, no município de Miraí, de propriedade da empresa Mineração Rio Pomba Cataguases Ltda, destinada à deposição de rejeitos do beneficiamento de bauxita, ocorreu em 1º de março de 2006. O rompimento provocou vazamento de cerca de 13 milhões de metros cúbicos de rejeitos no córrego Bom Jardim, afluente do Rio Paraíba do Sul. O acidente gerou sérios danos ambientais, como a inundação de trechos de áreas agricultáveis, o aumento da turbidez das águas do córrego Bom Jardim, do ribeirão Fubá e do rio Muriaé. Houve também interferência na biota aquática, com mortandade de peixes e o desabastecimento de água nas cidades de Lages do Muriaé e distritos de Retiro e Comendador Venâncio – em Itaperuna, Rio de Janeiro (FEAM, 2008).

A despeito das ações executadas pela empresa após o rompimento de 2006, em razão de uma falha no acompanhamento da execução do projeto de reforma das estruturas, em 10 de janeiro de 2007, ocorreu novo acidente com a ruptura do maciço da barragem São Francisco. Os registros meteorológicos confirmaram que na madrugada do dia do acidente ocorreu uma precipitação de 121,3 mm, concentrada em cerca de 4 horas, que corresponde a um tempo de recorrência de 180 anos (FEAM, 2008).

Segundo a FEAM (2008) dois funcionários responsáveis pela vigilância da estrutura, ao tomarem conhecimento do problema, adotaram imediatamente as medidas emergenciais preventivas para a retirada de mais de 2000 pessoas residentes na área a jusante da barragem, no município de Miraí, que seriam atingidas pelo vazamento de material. Esta providência e a pronta atuação da Prefeitura Municipal em conjunto com Polícia Militar foram fundamentais para evitar a ocorrência de vítimas fatais.

Devido ao acidente foram lançados cerca de 2 milhões de metros cúbicos de rejeitos nos cursos d'água a jusante. Isso provocou a inundação de aproximadamente 400 estabelecimentos residenciais e comerciais e deixou cerca de 2000 pessoas

desalojadas e desabrigadas, causando sérios prejuízos morais e materiais. Também foram inundadas várias propriedades rurais às margens do córrego Bom Jardim, danificando várias áreas agrícolas. Devido ao excesso de turbidez das águas dos córregos Bom Jardim, ribeirão Fubá e dos demais sistemas hídricos a jusante, o abastecimento de água foi comprometido.

No dia 10 de setembro de 2014 ocorreu o rompimento da Barragem de contenção de rejeitos B1 da Mineração Herculano, no município de Itabirito. O rompimento da Barragem B1 provocou o lançamento de 2 milhões de metros cúbicos no Ribeirão do Silva, afluente do Rio Itabirito. Trezentas residências ficaram sem fornecimento de água e de energia elétrica. Estavam operando no local um caminhão, uma escavadeira e um veículo uno que foram arrastados pelo volume de massa de rejeito e ficaram parcialmente/totalmente soterrados. Foram identificadas três vítimas fatais (FEAM, 2015). Conforme relatório apresentado à FEAM, a barragem possuía estabilidade garantida pelo auditor quando do seu rompimento.

Por volta das 16hs do dia 05 de novembro de 2015 foi anunciado o rompimento da Barragem do Fundão operada pela mineradora Samarco, localizada no distrito de Bento Rodrigues, município de Mariana. De acordo com as informações inseridas no Banco de Declarações Ambientais da FEAM pelo responsável da empresa, a Barragem do Fundão apresentava altura de 100 metros, volume do reservatório de 45 milhões de metros cúbicos, sendo classificada como estrutura de alto potencial de dano ambiental de acordo com critérios estabelecidos na DN 87/2005 (FEAM, 2016).

Segundo a FEAM (2016), o barramento recebia rejeito gerado na unidade de beneficiamento de minério de ferro e era classificada no maior porte pelo alto potencial de dano ambiental principalmente pela concentração de população no povoado de Bento Rodrigues, gravemente atingido pelo transbordamento do material da barragem e pelo significativo interesse ambiental a jusante.

O distrito de Bento Rodrigues foi totalmente devastado pela lama de rejeito proveniente da ruptura da barragem. Foram confirmadas 19 mortes. O desastre foi classificado pela defesa civil como nível IV, isto é, “desastre de porte muito grande”, o que significa que os danos causados são muito importantes e os prejuízos muito vultosos e consideráveis.

O rompimento da Barragem do Fundão causou efeito em cadeia, provocando o galgamento da Barragem Santarém que acumulava água. Dessa forma, quando o material contido na barragem rompida chegou a essa barragem, a água ali contida diluiu ainda mais o rejeito o que provocou aumento da velocidade da lama, causando grande dano ao meio ambiente (FEAM, 2016).

A Barragem Santarém, implantada no vale do córrego de mesmo nome, foi concebida para armazenamento de rejeito e água, localiza-se à jusante das Barragens Germano e Fundão. Encontrava-se com 33,1 metros de altura. Segundo dados da FEAM (2015), a onda de rejeitos galgou o barramento de Santarém erodindo severamente o talude de jusante, descalçando o pé do talude e comprometendo a saída do dreno interno e a própria estabilidade do maciço. A terceira barragem do complexo, a Barragem Germano, sofreu trincas decorrentes do rompimento da Barragem do Fundão.

O empreendimento foi autuado em 13 de novembro de 2015 pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, com multa no valor de R\$ 112.690.376,32 (cento e doze milhões, seiscentos e noventa mil, trezentos e setenta e seis reais e trinta e dois centavos).

A lama de rejeitos foi carregada até o Rio Gualaxo do Norte, a 55 km da barragem, desaguou no Rio do Carmo, atingiu o leito do Rio Doce e chegou ao litoral do Espírito Santo, adentrando cerca de 60 km no Oceano Atlântico (DA SILVA et al, 2017).

Segundo a FEAM (2016), a conclusão do Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragens elaborados em 2015 para empresa declarava que as três estruturas do complexo apresentavam Estabilidade Garantida pelo Auditor.

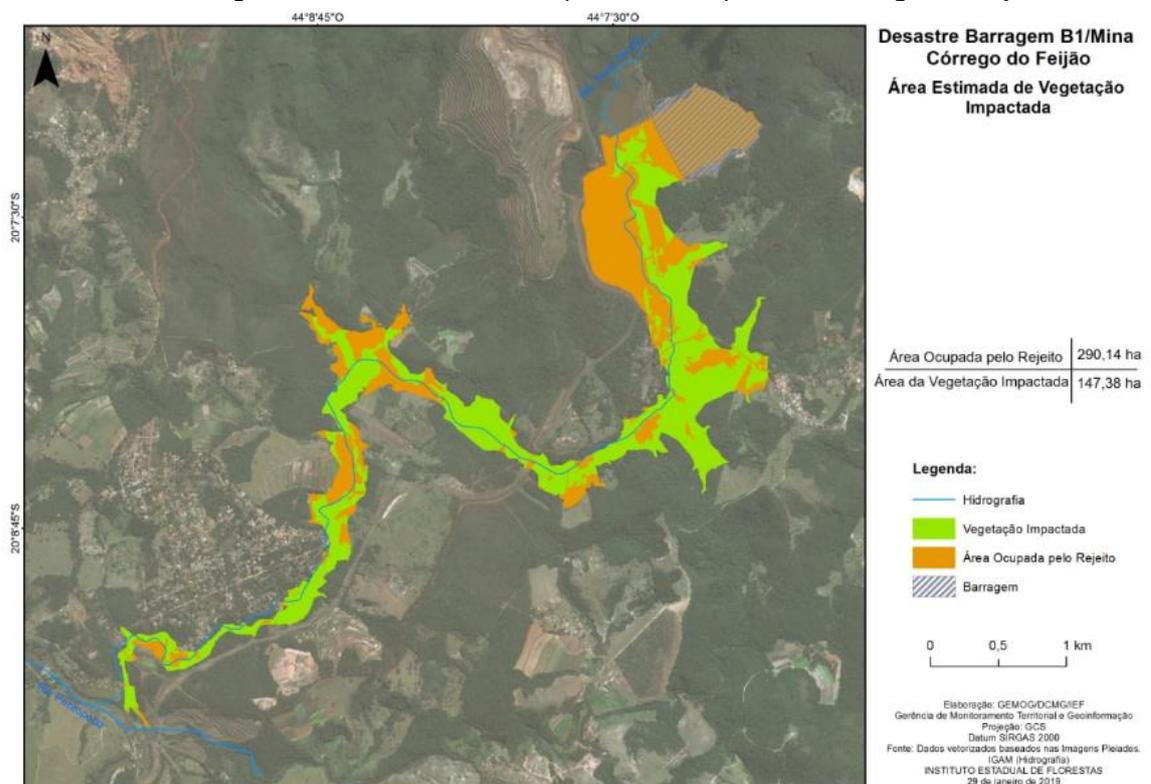
Em 25 de janeiro, por volta das 13h, a SEMAD foi informada do rompimento da Barragem B1 da mineradora Vale S.A, no empreendimento da Mina Feijão, localizado em Brumadinho, na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

A estrutura da barragem tinha área total de aproximadamente 27 hectares, 87 metros de altura e não recebia rejeitos desde 2016. A estabilidade estava atestada por auditor conforme declaração apresentada em agosto de 2018. O volume de material lançado foi de aproximadamente 12 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro (SEMAD, 2019).

A área total ocupada pelos rejeitos, que parte da Barragem B1 até o encontro com o Rio Paraopeba, foi de 290 hectares. Deste total, a área da vegetação impactada representa 147 hectares. Em relação às vidas humanas perdidas, segundo informações veiculadas nos meios de comunicação, totalizavam até março 206 corpos encontrados e 102 desaparecidos.

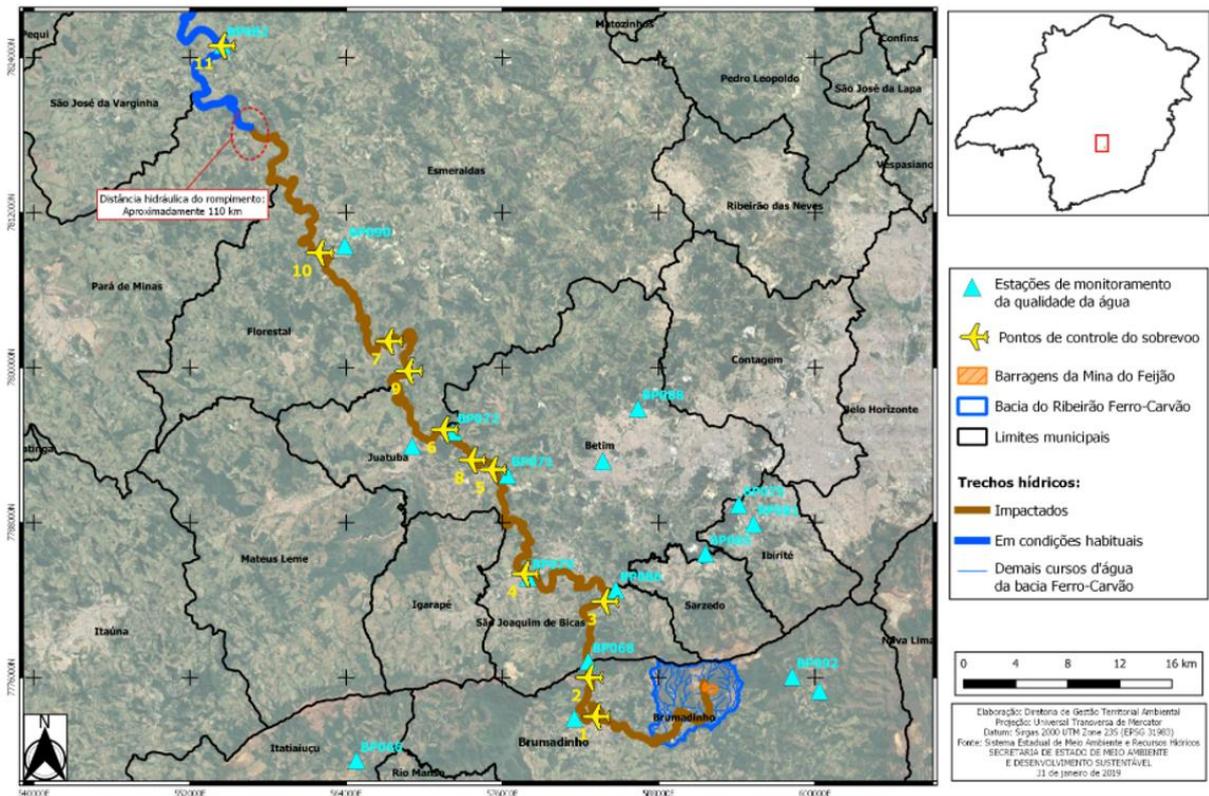
No dia 30/01 a Semad identificou que a lama oriunda do rompimento, após atingir o rio Paraopeba no município de Brumadinho, já havia avançado cerca de 110km do local do rompimento, chegando ao município de Pará de Minas. As Figuras 1 e 2 apresentam a vegetação impactada bem como o avanço da pluma.

Figura 1. Área diretamente impactada Rompimento Córrego do Feijão



Fonte: Semad, 2019

Figura 2. Avanço da Lama após o rompimento



Fonte: Semad, 2019

Outro impacto relatado pela SEMAD foi que, após o rompimento da Barragem B1, a água do rio Paraopeba apresenta riscos à saúde humana e animal após a detecção de metais em níveis acima do permitido pela legislação ambiental. Nesse sentido, por segurança à população, os órgãos recomendaram a não utilização da água bruta do curso d'água para qualquer finalidade, respeitada uma área de 100 metros das margens. A recomendação estende até o município de Pompéu, distante cerca de 290 km da barragem que rompeu.

O Quadro abaixo apresenta o resumo dos acidentes e os principais impactos causados.

Quadro 1. Acidentes com barragens em Minas Gerais

Ano/local	Ocorrência e Impactos
<p><b>1986 Itabirito</b></p>	<p>Rompimento da Barragem de rejeitos I da Mina do Fernandinho, da empresa Itaminas Comércio de Minérios. <b>Vazamento de 350 mil m<sup>3</sup> de rejeitos do beneficiamento de minério de ferro.</b> O vazamento provocou sérios danos ambientais ao longo do Córrego Fazenda Velha, como a <b>destruição e o assoreamento da mata ciliar</b> na extensão de aproximadamente <b>10 quilômetros</b>, atingindo também as cabeceiras do Córrego dos Andaimes e do Rio das Velhas. O acidente também provocou a <b>morte de sete operários</b>.</p>
<p><b>2001 Nova Lima</b></p>	<p>Rompimento da Barragem Cava 1 da Mineração Rio Verde. O acidente provocou grande carreamento de rejeitos do processamento de minério de ferro, acrescida de solo, troncos, árvores e pneus, <b>atingindo um trecho de aproximadamente 6 km</b> à jusante da barragem. A onda de lama provocou a <b>morte de cinco operários</b> que trabalhavam na barragem, assoreou os córregos Taquaras e Fechos, e danificou também a adutora da Copasa, <b>interrompendo o abastecimento público na região</b>.</p>
<p><b>2003 Cataguases</b></p>	<p>Rompimento da Barragem B da Florestal Cataguases Ltda, empresa do ramo de silvicultura. O principal impacto foi a <b>degradação da qualidade das águas</b> por meio do carreamento do resíduo pelas águas <b>do rio Pomba e do rio Paraíba do Sul, até sua foz no Oceano Atlântico, na cidade fluminense de Campos de Goitacazes</b>. A situação ocasionou a <b>mortandade de peixes</b>, a <b>interrupção do abastecimento público de água em vários municípios do estado do Rio de Janeiro</b>, além de <b>prejuízos em pequenas propriedades rurais em uma extensão de aproximadamente 106 hectares</b></p>
<p><b>2006/Mirai</b></p>	<p>Barragem São Francisco, no município de Mirai, da empresa Mineração Rio Pomba Cataguases Ltda. O rompimento provocou <b>vazamento de cerca de 13 milhões m<sup>3</sup> de rejeitos</b> no córrego Bom Jardim, afluente do Rio Paraíba do Sul. O acidente gerou sérios danos ambientais, como a <b>inundação de trechos de áreas agricultáveis</b>, o aumento da</p>

	turbidez das águas do córrego Bom Jardim, do ribeirão Fubá e do rio Muriaé. Houve também interferência na biota aquática, com <b>mortandade de peixes e o desabastecimento de água nas cidades de Lages do Muriaé e distritos de Retiro e Comendador Venâncio – em Itaperuna, Rio de Janeiro.</b>
<b>2007 Mirai</b>	Barragem São Francisco, no município de Mirai, de propriedade da empresa Mineração Rio Pomba Cataguases Ltda. Foram lançados cerca de <b>2 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos nos cursos d'água a jusante.</b> Isso provocou a <b>inundação de aproximadamente 400 estabelecimentos residenciais e comerciais</b> e deixou cerca de <b>2000 pessoas desalojadas e desabrigadas</b> , causando sérios prejuízos morais e materiais.
<b>2014 Itabirito</b>	Rompimento da Barragem de contenção de rejeitos B1 da Mineração Herculano. <b>Lançamento de 2 milhões de metros cúbicos no Ribeirão do Silva, afluente do Rio Itabirito. Trezentas residências ficaram sem fornecimento de água e de energia elétrica.</b> Foram identificadas <b>três vítimas fatais.</b>
<b>2015 Mariana</b>	Rompimento da Barragem do Fundão operada pela mineradora Samarco, localizada no <b>distrito de Bento Rodrigues</b> , que foi <b>totalmente devastado pela lama de rejeito</b> proveniente da ruptura da barragem. Foram confirmadas <b>19 mortes.</b> Cerca de <b>40 milhões de m<sup>3</sup> lama de rejeitos</b> foi carregada até o Rio Gualaxo do Norte, a 55 km da barragem, desaguou no Rio do Carmo, atingiu o leito do Rio Doce, percorreu mais de 500km e <b>chegou ao litoral do Espírito Santo, adentrando cerca de 60 km no Oceano Atlântico.</b>
<b>2019 Brumadinho</b>	Rompimento da Barragem B1 da mineradora Vale S.A, no empreendimento da Mina Feijão. O volume de material <b>lançado foi de aproximadamente 12 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro.</b> A área total ocupada pelos rejeitos foi de <b>290 hectares.</b> Deste total, a <b>área da vegetação impactada representa 147 hectares. 206 mortos e 102 desaparecidos.</b> <b>Interrupção da captação da água bruta do Rio Paraopeba em extensão de 290 km, por contaminação por metais.</b>

Fonte: O autor

Como uma das consequências do número de desastres e seus impactos, o poder público se mobilizou na elaboração da Lei Federal 12.334/2010 - Política Nacional de Segurança de Barragens e em suas resoluções complementares, emanadas do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH). A Lei tem por finalidade, estabelecer diretrizes para que sejam garantidos os meios necessários para a segurança dessas estruturas. Além disso, a norma preconiza que as informações devem ser organizadas e disponibilizadas para a comunidade técnica e população em geral, com base no princípio do diálogo e transparência (CBDB, 2015).

Segundo a Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB, 2015), apesar dos esforços em busca da regulamentação a partir da década de 1980, somente em 2010, com mais de 30 anos de atraso, houve a promulgação da lei brasileira sobre segurança de barragens.

A PNSB define que a segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros. Também estabelece que a população deve ser informada e estimulada a participar, direta ou indiretamente, das ações preventivas e emergenciais e que o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la. Por fim, pontua que a segurança de uma barragem influi diretamente na sua sustentabilidade e no alcance de seus potenciais efeitos sociais e ambientais (PNSB, 2010).

Os Quadros 2 e 3, a seguir, resumem os objetivos, fundamentos e competências para fiscalização estabelecidos na Lei.

Quadro 2. Fundamentos PNSB

<p><b>Objetivos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências;</li> <li>- Regular as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação,</li> </ul>
-------------------------	---

	<p>desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;</li> <li>- Criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;</li> <li>- Coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;</li> <li>- Estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;</li> <li>- Fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.</li> </ul>
<p><b>Fundamentos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros;</li> <li>- A população deve ser informada e estimulada a participar, direta ou indiretamente, das ações preventivas e emergenciais;</li> <li>- O empreendedor é o responsável pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la;</li> <li>- A promoção de mecanismos de participação e controle social;</li> <li>- A segurança de uma barragem influi diretamente na sua sustentabilidade e no alcance de seus potenciais efeitos sociais e ambientais.</li> </ul>

<b>Competências para Fiscalização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, observado o domínio do corpo hídrico, quando o objeto for de acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico;</li> <li>- Entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico, quando se tratar de uso preponderante para fins de geração hidrelétrica;</li> <li>- Entidade outorgante de direitos minerários para fins de disposição final ou temporária de rejeitos;</li> <li>- Entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação para fins de disposição de resíduos industriais.</li> </ul>
---------------------------------------	---

Fonte: O autor

Quadro 3. Atribuições PNSB

<b>Parte Envolvida</b>	<b>Obrigações conforme a PNSB</b>
<b>Empreendedor</b>	Gestão da Segurança da barragem
<b>Órgão fiscalizador</b>	Regulamentar Fiscalizar Manter Cadastro Informar
<b>Agência Nacional das Águas</b>	Elaborar relatório anual de Segurança de Barragens Implementar Sistema de Informações
<b>Conselho Nacional de Recursos Hídricos</b>	Regulamentar a classificação de barragens Emanar diretrizes para implementação da Lei

Fonte: O autor

Na avaliação do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB, 2015), a legislação brasileira sobre segurança de barragens tem diversos instrumentos técnicos e legais, que permitem o monitoramento e controle das ações de segurança de barragem utilizadas pelo empreendedor.

Em relação aos órgãos públicos relacionados na PNSB, o Comitê (2015) acrescenta que a função dessas instituições é fazer cumprir a Lei e, na mesma

medida, é implantar a cultura de segurança de barragens no âmbito dos empreendedores.

Apesar destas diretrizes estabelecidas pelos órgãos governamentais, a regulamentação e fiscalização sobre segurança de barragens no Brasil ainda apresenta desafios de natureza conjuntural e majoritariamente relativos à estrutura organizacional em número e qualificação técnica dos agentes dos órgãos de fiscalização. Além disso, a fiscalização técnica, por ser responsabilidade da administração pública, guarda uma relação direta e exclusiva com a sociedade, já que o papel fundamental do Estado é prover garantias à sociedade quanto ao bom desempenho e segurança do empreendimento fiscalizado (CBDB, 2015).

Neste sentido, o CBDB (2015) destaca que se a fiscalização comete uma falha por ausência, insuficiência ou por despreparo, ela falhou com a sociedade a que se obrigava defender.

No entanto, a fiscalização técnica não pode ser confundida com algo que se assemelhe a uma consultoria técnica colocada à disposição do empresário pela administração pública, e cujo papel seria periodicamente examinar a obra, identificar problemas, e orientar o proprietário em sua correção, ou seja, nunca um dono de obra poderá alegar que deixou de tomar o cuidado técnico adequado pelo fato da fiscalização não haver solicitado tal providência. As relações de responsabilidade do empresário com sua barragem independem radicalmente do processo fiscalizatório. Ou seja, é dele a responsabilidade técnica total sobre a qualidade de sua obra e sobre eventuais acidentes ou disfunções técnicas que com ela possam acontecer (CBDB, 2015).

Por outro lado, o CBDB (2015) aponta falhas no atual arranjo institucional da ação fiscalizatória de barragens. Hoje essa função está distribuída em diversos órgãos segundo sua natureza. No entanto, uma barragem sempre deverá apresentar e cumprir requisitos hidráulicos e geotécnicos muito próprios, de tal forma que seria muito mais eficiente para o desenvolvimento de uma cultura técnica comum de fiscalização que essa operação fosse exercida somente por uma instituição, para tanto vocacionada por sua *expertise* na matéria.

Em Minas Gerais, em decorrência ao seu histórico de acidentes, bem como ao fato do estado ser a unidade federativa com o maior número de barragens de rejeito

do país, as autoridades públicas locais empreenderam esforços anteriores à Lei nacional na regulamentação da atividade. As ações se concentraram em normativas infra legais por meio do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, órgão colegiado que possuem competência para definir regras ambientais no Estado.

A primeira norma editada, a Deliberação Normativa nº 62 de 2002, promoveu o cadastro e classificação das estruturas situadas em indústrias e minerações, segundo seu potencial de dano ambiental. Trata-se uma forma indireta de avaliar os possíveis impactos ambientais decorrentes de eventual vazamento do material contido no reservatório. Os critérios de classificação fundamentam-se em cinco parâmetros, sendo dois técnicos, relacionados ao porte da barragem e do reservatório, e três ambientais, que abrangem as características físicas e socioeconômicas da área de influência localizada a jusante da estrutura, são eles: altura da barragem; volume do reservatório; ocupação humana a jusante da barragem; interesse ambiental a jusante da barragem; instalações na área a jusante da barragem. A classificação é feita conforme Tabela 1.

Tabela 1. Critérios para classificação das barragens

<b>Altura da barragem H (m)</b>	<b>Volume do Reservatório (x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ocupação humana à jusante</b>	<b>Interesse ambiental à jusante</b>	<b>Instalações na área de jusante</b>
<b>H &lt; 15 V=0</b>	Vr < 0,5 V=0	Inexistente V=0	Pouco significativo V=0	Inexistente V=0
<b>15 &lt;= H &lt; =30 V=1</b>	0,5 <= Vr < =5 V=1	Eventual V=2	Significativo V=1	Baixa concentração V=1
<b>H &gt; 30 V=2</b>	Vr > 5 V=2	Existente V=3	Elevado V=3	Alta concentração V=2
-	-	Grande V=4		

Fonte: Deliberação Normativa Copam nº62, 2002.

Em relação ao critério “interesse ambiental à jusante da barragem”, a DN 87 estabelece em seu anexo I parâmetros para declaração por parte do empreendedor, conforme Figuras 3 e 4.

Figura 3. Parâmetros para classificação de barragens – aspectos físicos

(MARQUE COM "X" AS RESPOSTAS MAIS ADEQUADAS PARA AS QUESTÕES SEGUINTE)						
QUANTO AO RESERVATÓRIO, REJEITO/ÁGUA/ OUTROS						
A FUNÇÃO DO RESERVATÓRIO É ARMAZENAR O QUE ?	REJEITO	RESIDUO INDUSTRIAL	SÓLIDOS CARREADOS	ÁGUA	OUTROS	
			PELA AÇÃO DA EROSAO			
QUAL O BENEFICIAMENTO FEITO NO REJEITO ?	NENHUM	QUÍMICO	BRITAGEM ou MOAGEM	PENEIRAMENTO	LAVAGEM	OUTROS
QUAL O PRE-TRATAMENTO FEITO NO RESIDUO INDUSTRIAL ?	NENHUM	FÍSICO-QUÍMICO	REMOÇÃO DE SÓLIDOS	AJUSTE DO PH	OUTROS	
COMO PODE SER CLASSIFICADO O REJEITO/RESIDUO/ ÁGUA ?	INERTE	NÃO INERTE	PERIGOSO			
EXISTE PRODUTO QUÍMICO AGRESSIVO NO REJEITO/ RESIDUO ?	SIM	NÃO				
CASO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA, EXISTE PRODUTO QUÍMICO AGRESSIVO NA ÁGUA ?	SIM	NÃO				

Fonte: Deliberação Normativa Copam nº87

Figura 4. Parâmetros para classificação de barragens – aspectos ambientais

QUANTO A ÁREA A JUSANTE DA BARRAGEM						
QUAL O TIPO DE OCUPAÇÃO HUMANA A JUSANTE ?	INEXISTE	PASSAGEM DE PESSOAS OU VEICULOS	LOCAL DE PERMANÊNCIA EVENTUAL	POUCOS HABITANTES	POVOADO ou BAIRRO	MUNICÍPIO
QUAL O INTERESSE AMBIENTAL A JUSANTE ?	ÁREA FOI TOTALMENTE DESCRACERIZADA	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP)	RESERVA FLORESTAL	MATA CILIAR	CURSO D'ÁGUA	OUTROS
QUAIS SÃO OS TIPOS DE INSTALAÇÕES A JUSANTE ?	MINA OPERANTE	ÁREA DE PLANTIO	ESCOLA	COMÉRCIO	RESIDÊNCIAS	PONTE
	BARRAGEM	ÁREA DE PASTAGEM	HOSPITAL	INDUSTRIA	ESTRADA	OUTROS
QUAL A CONCENTRAÇÃO DESSAS INSTALAÇÕES A JUSANTE ?	INEXISTE	BAIXA CONCENTRAÇÃO	ALTA CONCENTRAÇÃO			
NOTA: CASO MARCAR "OUTROS", DESCREVER AQUI NO FINAL DO QUESTIONARIO, DESCRIMINANDO O ITEM.						

Fonte: Deliberação Normativa Copam nº87

Importante destacar que na atual metodologia adotada pelo Estado de Minas Gerais, compete ao empreendedor declarar os parâmetros de seu empreendimento, inclusive os ambientais.

A partir do somatório dos valores (V) atribuídos à barragem em função de seus parâmetros físicos e socioambientais da área onde está inserida, conforme apresentado na Tabela 1, estabelece-se sua categoria, conforme Quadro 4.

Quadro 4. Classes de potencial de dano ambiental

<b>Classe de Dano Ambiental</b>	<b>Somatório de Valores</b>
<b>Classe I</b>	$V \leq 2$ (Baixo potencial de dano ambiental)
<b>Classe II</b>	$2 < V \leq 5$ (Médio potencial de dano ambiental)
<b>Classe III</b>	$V > 5$ (Alto potencial de dano ambiental)

Fonte: Deliberação Normativa Copam °87, 2005

No intuito de aperfeiçoar a legislação, foi publicada a Deliberação Normativa Copam nº 87, em 6 de setembro de 2005, que altera e complementa a Deliberação Normativa nº 62/2002, dispondo sobre a realização de auditoria técnica de segurança. A norma, a partir da classificação das estruturas, determinou aos empreendedores, nas fases de projeto, implantação, operação e fechamento/desativação a obrigatoriedade, por parte do empreendedor, da realização periódica de Auditorias Técnicas de Segurança, executada por profissional (is) legalmente habilitado (s).

Conforme estabelece a DN 87, as Auditorias Técnicas de Segurança devem ser independentes, ou seja, devem ser feitas por profissionais externos ao quadro de funcionários da empresa, para garantir clareza e evitar conflito de interesses, e executadas por especialistas em segurança de barragens. Ao final de cada auditoria, o (s) auditor (es) deve (m) elaborar um Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem, contendo no mínimo o laudo técnico sobre a segurança da barragem, as recomendações para melhorar a segurança da barragem, nome completo dos auditores, com as respectivas titularidades e Anotações de Responsabilidade Técnica.

A periodicidade das Auditorias Técnicas de Segurança varia de acordo com a classificação da barragem conforme Quadro 5 a seguir.

Quadro 5. Periodicidade da auditoria de segurança

Classe I	Auditoria a cada 3 anos
Classe II	Auditoria a cada 2 anos
Classe III	Auditoria a cada 1 ano

Fonte: Deliberação Normativa Copam °87, 2005

Ainda de acordo com a DN 87, as recomendações descritas no primeiro Relatório da Auditoria de Segurança constituem o ponto de partida para a definição das providências de adequação dos procedimentos de segurança, cabendo à FEAM

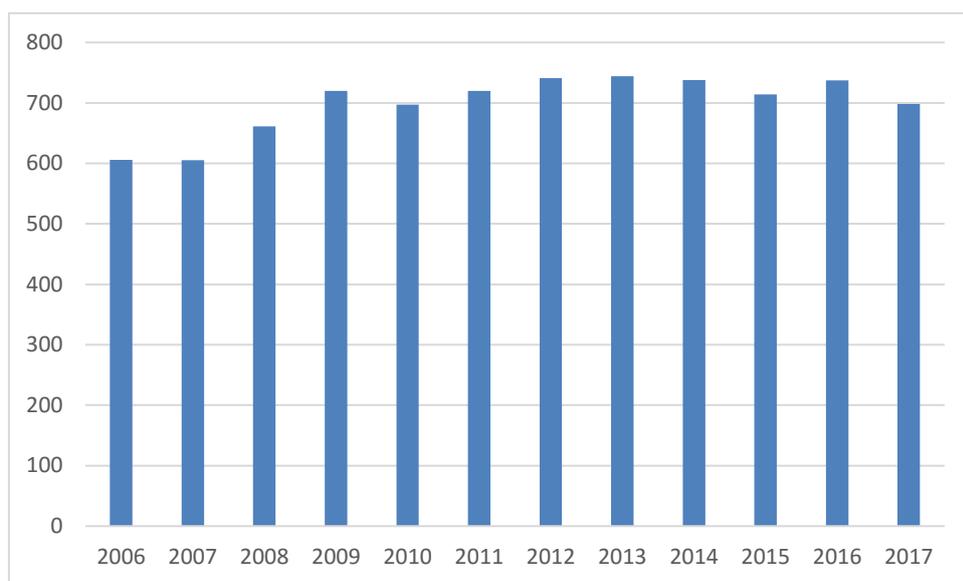
atuar na verificação da implantação das recomendações apontadas no referido relatório, no contexto dos processos de licenciamento e fiscalização ambiental.

A FEAM, em função dos acidentes já ocorridos no Estado de Minas Gerais e do potencial de dano ambiental e social que esses acidentes podem ocasionar, tem priorizado a gestão de barragens de rejeito e de resíduos em indústrias e mineração, por meio do acompanhamento dos relatórios de auditoria técnica de segurança e realização de fiscalizações nas estruturas, que têm relação direta com uma das principais atividades econômicas do Estado. A partir das informações cadastradas a FEAM elabora uma programação anual de fiscalizações.

O cadastramento de barragens de Barragens em Minas Gerais por parte do órgão ambiental estadual foi iniciado em 2006. Naquele ano foram cadastradas 606 estruturas. No ano de 2017 constam 698 barragens cadastradas no Banco de Declarações Ambientais da FEAM. O Gráfico 1 apresenta a evolução do número de barragens cadastradas nos últimos 12 anos.

O incremento no número de barragens cadastradas de 2006 a 2013 se explica pelo gradual conhecimento dos empreendedores da necessidade de cadastro, pela fiscalização em campo realizada pela FEAM e pelo aumento do número de barragens no estado face o aquecimento econômico do setor mineral diante da demanda mundial por essa *commoditie*. A partir de 2013 se iniciou uma tendência de queda no número de barragens decorrente de ações de descaracterização de algumas estruturas pelo fim de sua vida útil e também pelo desaquecimento da demanda (FEAM, 2017).

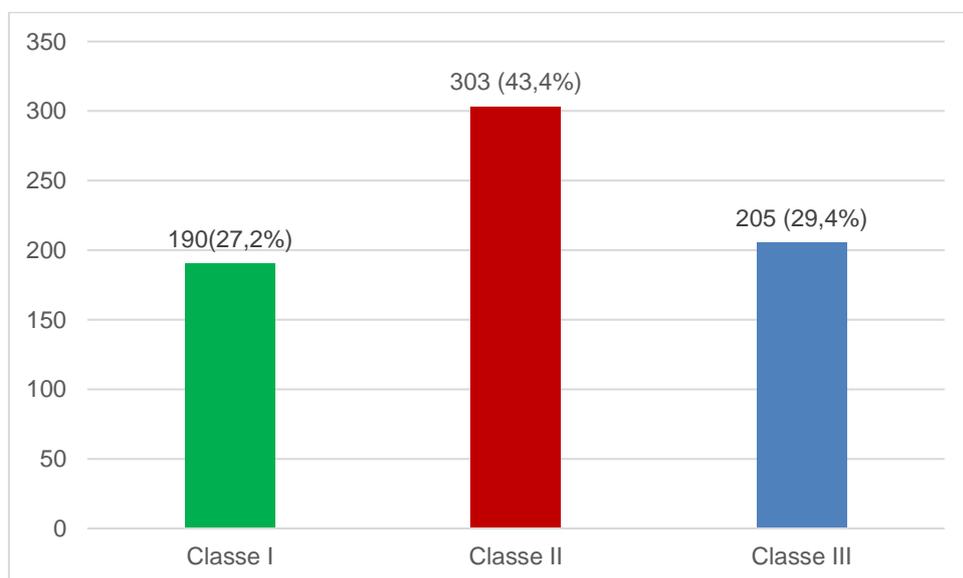
Gráfico 1. Evolução do número de Barragens cadastradas e Minas Gerais



Fonte: Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais, Feam 2017

Quanto à classificação das barragens, conforme declarações apresentadas, a divisão é a apresentada no Gráfico 2.

Gráfico 2. Barragens cadastradas 2017 por classe

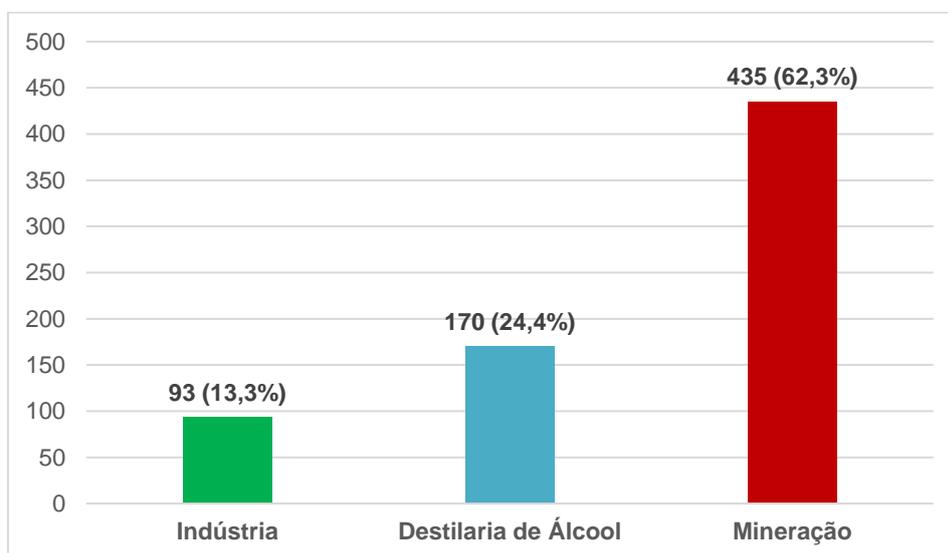


Fonte: Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais, Feam 2017

Em relação à tipologia das estruturas, em 2017, a atividade de mineração deteve o maior percentual de estruturas cadastradas. Essa condição tem sido

recorrente ao longo dos anos, devido ao grande potencial minerário do estado de Minas Gerais (FEAM, 2017). O Gráfico 3 apresenta a distribuição por tipologia.

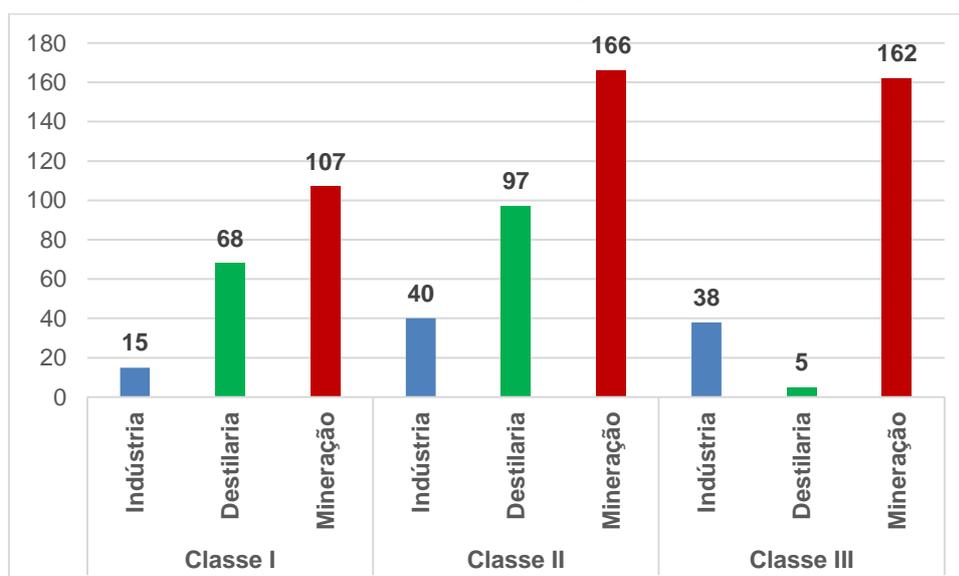
Gráfico 3. Tipologia das barragens em Minas Gerais



Fonte: Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais, Feam 2017

Além de ser a atividade predominante no número total de barragens, a mineração igualmente apresenta maior em número em todas as classes previstas na DN 87, conforme disposto no Gráfico 4.

Gráfico 4. Estruturas por classe e tipologia das barragens em MG



Fonte: Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais, Feam 2017

Para a realização de ações publicadas referentes à fiscalização de barragens, verificou-se a existência de recursos públicos consignados para a atividade. A Lei Orçamentária Anual (LOA) é o instrumento legal que estabelece as metas físicas e financeiras que os órgãos públicos para um ano, e é na nela que o governo define as prioridades e metas que deverão ser atingidas. A LOA disciplina todas as ações do Governo, sendo que nenhuma despesa pública pode ser executada fora do Orçamento.

Ao se analisar a Lei Orçamentária Anual do Estado de Minas Gerais dos últimos sete anos (2012-2019), observa-se que a FEAM somente passou a possuir dotação orçamentária específica para a gestão de segurança de barragens a partir de 2016, não sendo possível verificar qual o valor empregado nesta atividade nos anos anterior. A Tabela 2 apresenta o histórico do montante de recursos destinados à fiscalização.

Tabela 2. Orçamento para gestão de barragens na Lei Orçamentária Anual

		Percentual do orçamento total anual
Até 2016	Sem orçamento específico	-
2016	R\$ 2,3 milhões	<b>6%</b>
2017	R\$ 680 mil	<b>2%</b>
2018	R\$ 201 mil	<b>0,6%</b>
2019	R\$ 30,2 mil	<b>0,085%</b>

Fonte: Lei Orçamentaria Anual – Seplag MG, 2106, 2017, 2018 e 2019

A redução crescente dos recursos investidos na atividade, ainda que não seja possível definir se a redução dos valores orçamentários para a gestão de barragens tenha consequência prática nas ações referentes a essas estruturas, indica que o tema vem tendo sua importância relegada na formulação da proposta orçamentária. Ou seja, não é prioridade na política estabelecida pelo poder público.

Como ferramenta principal para a tomada de decisões no que se refere a priorização das estruturas a serem vistorias, a FEAM se pauta prioritariamente nas estruturas nas quais os auditores apontaram inconformidades acerca de sua estabilidade (FEAM, 2017).

Desta forma as declarações feitas a partir das auditorias de segurança nos termos definidos pelas Deliberações do COPAM tem suas conclusões divididas em 3 grupos:

1. Estabilidade garantida;
2. Estabilidade não garantida;
3. Auditor não conclui.

A condição de Estabilidade Garantida se refere à situação em que o auditor, após estudos geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, análises visuais, avaliações das condições de construção (*“as built”*) e/ou condições atuais (*“as is”*) das estruturas, garante que as mesmas estão estáveis tanto do ponto de vista da estabilidade física do maciço quanto da estabilidade hidráulica (passagem de cheias) e, portanto, não demonstram, no momento da realização da auditoria, risco iminente de rompimento (FEAM, 2017).

A condição para a qual não há conclusão sobre a estabilidade da estrutura devido à falta de dados e/ou documentos técnicos reporta à situação em que o auditor não dispõe de estudos geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, análises visuais, avaliações das condições de construção (*“as built”*) e/ou condições atuais (*“as is”*) das estruturas e por esse motivo não consegue atestar a estabilidade da estrutura (FEAM, 2017).

A condição de Estabilidade não Garantida significa que o auditor após os estudos geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, análises visuais, avaliações das condições de construção (*“as built”*) e/ou condições atuais (*“as is”*) das estruturas, não garante que as mesmas estejam seguras seja pelo ponto de vista da estabilidade física do maciço ou pelo ponto de vista da estabilidade hidráulica (passagem de cheias), portanto são estruturas que apresentam maior risco de rompimento, caso medidas preventivas e corretivas não sejam tomadas (FEAM, 2017). O Quadro 6 apresenta a forma como é feita a conclusão acerca da estabilidade das barragens.

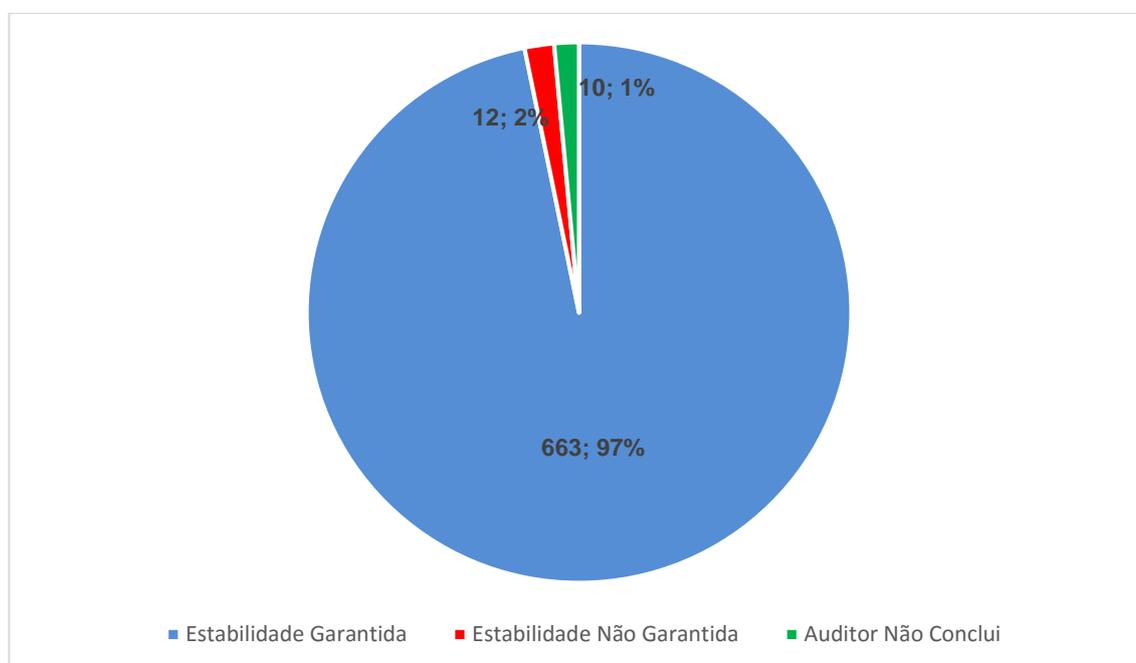
Quadro 6. Conclusão auditorias de segurança de barragens

Grupos após realização das auditorias	Crítérios
<b>Estabilidade Garantida</b>	O auditor, após estudos, garante que as mesmas estão estáveis tanto do ponto de vista da estabilidade física do maciço quanto da estabilidade hidráulica
<b>Sem Conclusão de Estabilidade</b>	O auditor não conclui sobre a estabilidade da estrutura devido à falta de dados e/ou documentos técnicos
<b>Estabilidade Não Garantida</b>	O auditor, após os estudos, não garante que as mesmas estejam seguras. São estruturas que apresentam maior risco de rompimento caso medidas preventivas e corretivas não sejam tomadas.

Fonte: Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais, Feam 2017

Pala ilustrar a situação, o gráfico baixo apresenta a distribuição da condição de estabilidade das barragens no ano de 2017.

Gráfico 5. Condição de Estabilidade das Barragens em Minas Gerais



Fonte: Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais, Feam 2017

A partir da declaração de estabilidade a FEAM define seu cronograma de fiscalização anual com vistas a acompanhar a implementação das recomendações feitas pelos auditores nos relatórios de segurança.

O Quadro 7 apresenta o desempenho da atividade de fiscalização realizada pela Feam nos últimos quatro anos.

Quadro 7. Número de estruturas fiscalizadas pela Feam de 2014 a 2017

<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
253	281	309	275	328

Fonte: Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais, Feam 2014 a 2018

A partir do número de fiscalizações realizadas e após cálculo feito em relação às barragens cadastradas nos referidos anos, verifica-se que a FEAM vistoriou, em média, 35% das estruturas.

Pode observar ainda que, a despeito da redução absoluta e percentual dos recursos financeiros relativos à gestão das barragens, a média de estruturas fiscalizadas permaneceu próxima em todos os anos.

### **3.1.2. Outros países**

O Comitê Internacional de Barragens (ICOLD), criado em 1928, realiza periodicamente avaliação da evolução da gestão de barragens de rejeito no mundo. O trabalho tem como um dos principais aspectos verificar como as normas tem sido atualizadas mundo afora face a evolução tecnológica do setor, bem como face à crescente cobrança da sociedade acerca dos impactos ambientais causados e os riscos inerentes à atividade.

Delliou (2014) realizou uma revisão sobre legislação de barragens de contenção de rejeitos em diversos países e concluiu que não há uma padronização no que diz respeito aos métodos de classificação e fiscalização, ou seja, cada país tem criado seus próprios critérios de avaliação acordo com seu histórico de desenvolvimento e características locais.

Em alguns países, a exemplo da Alemanha, o esquema regulador se baseia em legislação específica segundo a tipologia das barragens. Já em outros países,

como a Eslovênia, a segurança de barragem é tratada como um aspecto mais geral da legislação, sem distinção por tipo, incluindo tanto barragens para geração de energia ou como recursos naturais (BRADLOW, PALMIERI e SALMAN 2002).

Países como Portugal, Estados Unidos, Espanha e França possuem um sistema legislativo já avançado, inclusive com classificação quantitativa de riscos de acordo com as características das barragens e dos rejeitos. Países, como Estados Unidos e Austrália, possuem legislação específica para os sistemas de contenção de rejeitos, enquanto outros enfatizam suas legislações para barragens convencionais e diques de contenção de cheias, sistemas estes que predominam em países como França e Holanda. (DUARTE, 2008)

Martins (1999) aponta que alguns países já estão introduzindo a avaliação de risco na legislação. No entanto, geralmente, a definição destes critérios não é clara e estão implícitos nas legislações atuais

Golder (1999) sugere que as regulamentações devem ser escritas para identificar pró-ativamente as mudanças potenciais e os perigos, ao invés de simplesmente reduzir os eventos inaceitáveis depois de ocorrido. Devem também observar as variações físicas, técnicas e considerações sociais dos diferentes locais.

Segundo ICOLD (2001), o regulamento de barragens geralmente abarca os seguintes critérios:

- Altura (com relação ao nível da terra ou da fundação);
- -Nível de água;
- Volume do reservatório;
- Mapa de inundação;
- Comprimento da crista.

Segundo Martins (1999), a legislação e a elaboração de normas nos últimos 30 anos passaram a exigir procedimentos cada vez mais rigorosos no que diz respeito à proteção das populações a jusante de barragens, considerando:

- Cenários de ruptura, independentemente da probabilidade de ocorrência;

- Elaboração de mapas de inundação correspondentes a cheias provocadas por acidentes em barragens;
- Zoneamento de risco e elaboração de planos de evacuação;
- Implementação de sistemas de alarme e aviso eficazes;
- Elaboração de planos de emergência com a participação de autoridades locais e da comunidade;
- Recomendações para controle da ocupação do território, nomeadamente em áreas de risco.

Na África do Sul, uma política de autogerenciamento é aplicada e exige que as minas preparem um Relatório de Gestão Ambiental no estágio de planejamento. A regra requer que cada barragem contenha uma Classificação de Segurança e Ambiental. Em termos de segurança, cada barragem é classificada como tendo um perigo de segurança elevado, médio ou baixo. Em termos ambientais, a barragem é classificada quanto à extensão, duração e intensidade dos impactos espaciais potenciais, e considerados como "significativo" ou "não significativo". Estas classificações determinam as exigências mínimas para a investigação, projeto, construção, operação e descomissionamento da barragem (PENMAN, 2001).

Nos Estados Unidos (EUA), a ruptura da barragem de Teton em 1977 constituiu um marco nos conceitos de segurança e risco a jusante que culminou nas Recomendações Federais para Segurança de Barragens, que passaram a ser adotadas e implementadas pelas agências federais. Estas recomendações incluem, entre outras ações, a elaboração e a implementação de Planos de Ação de Emergência, com o envolvimento das autoridades e comunidades locais (WSDE, 1993).

É de salientar a relativa alta frequência de acidentes de pequenas e médias barragens de terra nos EUA que justificou um rigor particular nas atividades de segurança desencadeadas pelas diversas agências de licenciamento de barragens, autoridades de segurança e donos de obras, em particular o *Bureau of Reclamation* e o *U.S. Army Corps of Engineers*. Em 1981 esta última instituição desencadeou um Programa de Inspeção Nacional em 9.000 barragens, tendo concluído que cerca de um terço estavam em condições de segurança deficientes (WSDE, 1993).

Segundo Duarte (2008) Legisladores dos EUA estão mostrando um aumento aceitável de projetos mais robustos e tecnologias que apresentam maior controle sobre os rejeitos. Os autores estão envolvidos em muitos projetos de propostas nos últimos anos onde os projetos são mais específicos, robustos e não-tradicionais.

No Canadá, alguns incidentes recentes em barragens de contenção de rejeitos, foram causados, em parte, pela falta de uma base de dados histórica relevante e acessível e/ou apreciação inadequada dessa base de dados (MARTIN et al 2002).

A Associação de Barragens do Canadá (CDA, 1999) atualizou orientações em segurança de barragens, incluindo recomendações a respeito das responsabilidades para a segurança, o escopo e a frequência de revisões de segurança, operação, manutenção e inspeção e também preparação para emergências. Estas orientações indicam que as barragens convencionais, de terra, para armazenamento de água ou rejeitos de mineração são, em muitos casos, similares quanto aos critérios de projeto para estabilidade.

No Canadá "Um Guia para o Gerenciamento das Barragens de Contenção de Rejeitos" (MAC, 1998), apresenta uma estrutura de gestão da vida útil e fornece recomendações para planejamento, projeto, construção, operação, descomissionamento e fechamento para barragens de contenção de rejeitos. A estrutura é expandida em uma série de listas de verificação (*check lists*) que se dirigem aos vários estágios do ciclo de vida de uma barragem de contenção de rejeitos. O guia identifica seis elementos chaves para a execução eficaz da operação e da gestão da barragem:

- Gerenciamento das Ações,
- Responsabilidade,
- Medição do Desempenho,
- Programação,
- Considerações Técnicas e
- Outras Referências.

Em 2003, a Associação de Mineração do Canadá lançou outro guia "Desenvolvendo um Manual de Operação, Manutenção e Inspeção para estruturas de

retenção de água e resíduos" a fim de ajudar as empresas de mineração a aplicar os sistemas de gerenciamento dos resíduos, que incluem critérios ambientais e de segurança. A finalidade é também melhorar a consistência da aplicação de princípios saudáveis da engenharia e de gestão nas estruturas de retenção de água e de resíduos em todo o seu ciclo de vida (DUARTE, 2008).

Na Austrália, o Departamento de Minerais e Energia (DME) preparou orientações para auxiliar as etapas de projeto, construção, operação e descomissionamento de barragens de retenção de resíduos para alcançar segurança e resultados ambientais aceitáveis. As orientações pretendem fornecer uma abordagem comum ao projeto, à construção, à operação e à reabilitação segura, além de fornecer um método sistemático de classificar sua adequabilidade sob circunstâncias operacionais de casos normais e anormais (AUSTRALIAN EPA, 1995).

Segundo Duarte (2008), a abordagem adotada reconhece o desejo da indústria de mineração em mover-se para o autogerenciamento, por meio do uso de um certificado de conformidade para projeto e construção de barragens. Estas orientações apresentam como um dos seus objetivos o incentivo à indústria de mineração a fazer uma abordagem mais completa do planejamento de estruturas de retenção de resíduos.

O sistema de avaliação do perigo é usado, de acordo com o porte da barragem, para definir três categorias de risco, de acordo com os níveis de detalhes e justificativas do projeto. Procedimentos operacionais e medidas de reabilitação também são requeridos. As barragens envolvidas nesta classificação são as que apresentam altura maior que 15 metros ou perigo significativo para sociedade (AUSTRALIAN EPA, 1995).

A altura e o sistema da avaliação do perigo reconhecem que devido à variação ambiental e os perigos impostos pelas barragens de diferentes tamanhos haverá diferenças contínuas das exigências de projeto e da operação para assegurar a reabilitação adequada de tais instalações.

Na Europa, a legislação e a regulamentação aplicável às barragens de retenção de resíduos diferem entre os estados membros da União Europeia. Na maioria dos países as barragens de retenção de resíduos permanecem fora das

regulamentações de segurança em relação às barragens convencionais (DUARTE, 2008).

De acordo com Delliou (2001), na União Europeia ainda não existe uma legislação específica para os resíduos das operações de mineração, entretanto, o processo de criação e adoção da legislação está caminhando continuamente. No momento, os estados membros têm sua própria legislação sobre mineração e meio ambiente, que se refere à mineração e é aplicável ao gerenciamento das barragens de contenção de rejeitos.

Em resposta a acidentes como os de Baia Maré (Romênia) e Aznalcóllar (Espanha), ambos em 1998, e a poluição que eles causaram, a Comissão Europeia comunicou a "Operação de Segurança das Atividades de Mineração: no seguimento dos recentes acidentes de mineração." A comunicação levantou três elementos-chaves visando o aumento da segurança nas operações de mineração, ou seja, uma revisão da legislação sobre o controle de grandes acidentes envolvendo substâncias perigosas, para incluir no seu escopo os reservatórios e as barragens de contenção de rejeitos; a criação de um Documento de Referência - BAT (*Best Available Technic*) sobre barragens de contenção de rejeitos e gerenciamento de resíduos industriais para reduzir a poluição diária e prevenir ou mitigar acidentes no setor da mineração; e proposta de uma diretiva de Mineração (DUARTE, 2008).

O objetivo desta iniciativa é melhorar o gerenciamento dos resíduos na mineração através do levantamento dos riscos potenciais ao meio ambiente durante a fase de disposição. O foco é a segurança no gerenciamento dos resíduos e em particular a segurança das barragens, além dos aspectos operacionais relacionados ao gerenciamento de resíduos, incluindo drenagem ácida e possível contaminação do meio ambiente (DELLIOU, 2001).

O Quadro 8 apresenta as principais regras e metodologias utilizadas nos principais países mineradores no mundo.

Quadro 8. Principais aspectos da gestão de barragens no mundo

<b>País</b>	<b>Forma de classificação</b>	<b>Exigências</b>
<b>África do Sul</b>	-Classificação de risco de segurança em níveis elevado, médio ou baixo.	-Inventário das barragens atualizado; -Aplicação da legislação;

	-Classificação quanto à extensão, duração e intensidade dos impactos, considerados significativos ou não significativos	-Relatório do Programa de Gestão Ambiental; -Análise do Ciclo de Vida. -Inspeções Devem ser realizada por consultores independentes
<b>Alemanha</b>	Seis tipos de barragens: -T1: barragens e represas; -T2: barragens de rejeito (com água); -T3: medidas de segurança; -T4: reservatório para controle de inundação; -T5: reservatório de armazenamento (com bomba); -T6: barragens de rejeito (sem água).	- Relatório de Segurança (anual); - Período de retorno para barragens de rejeitos TR = 1.000 anos; - Estado da arte; - Controle da documentação; - Aprovação do projeto; - Realizadas por autoridades do Estado (perito);
<b>Austrália</b>	-Divisão em três classes de acordo com a compilação de dados de altura e categoria de risco	-Notificação de Intenção (documento englobando aspectos ambientais a serem aprovados). -De acordo com a classe, a inspeção será a cada um, dois ou três anos.
<b>Espanha</b>	-Classe A: risco de perda de vidas humanas; danos em áreas urbanas; importância nos materiais e idade da barragem; -Classe B: riscos limitados de perda de vida humana; perigo em população escassa ou em infraestruturas não muito importantes; - Classe C: riscos de perda de vidas humanas em condições excepcionais; poucos danos.	-Controle da documentação e registros; -Procedimentos para casos de eventos excepcionais; -Programa de monitoramento e inspeções periódicas; -Procedimento de informação para extravasamento de água; -Sistema de alarme; -Plano de emergência para Classes A e B a cada 5 ou 10 anos de acordo com a classe ou após eventos excepcionais.
<b>Polônia</b>	-As barragens são divididas em quatro classes, sendo que as barragens de rejeitos são	- Estudo de Impacto Ambiental;

	classificadas como barragens de água.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Plano de ação de emergência (simulação de inundação, plano de salvamento, rotas de evacuação);</li> <li>-Relatório de Barragens (amostragem, monitoramento, controle da documentação);</li> <li>-Instrumentação;</li> <li>-Manual de Operação.</li> </ul>
<b>Portugal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grandes Barragens: H &gt; 15 m ou V &gt; 1.000.000 m<sup>3</sup> ou perigo importante (perdas de vidas humanas, consequências econômicas importantes);</li> <li>- Pequenas Barragens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Há regras gerais (não impõe métodos precisos);</li> <li>-Sistema de monitoramento;</li> <li>-Plano de emergência;</li> <li>-Sistema de alarme (transmissão da comunicação por telefone, rádio ou sinal sonoro).</li> <li>-Três tipos de inspeções: contínua, especial, excepcional</li> </ul>
<b>Romênia</b>	-Quatro classes de acordo com volume e altura da barragem	<ul style="list-style-type: none"> <li>-O Estado define alguns padrões de projeto de acordo com a classe da barragem;</li> <li>-Controle documental;</li> <li>-Sistema de alarme;</li> <li>-Plano de emergência.</li> <li>-A própria empresa define a inspeção e o método de monitoramento;</li> <li>-Inspeções especiais acompanhadas por peritos, em caso de eventos excepcionais.</li> </ul>
<b>França</b>	Não identificado	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Não há padrões de projeto definidos, cada barragem deve atender o Estado da Arte;</li> <li>-Registro de incidentes;</li> <li>-Sistema de alarme;</li> <li>-Plano de alerta e socorro à população jusante;</li> <li>-Para H &gt; 20 m e V &gt; 15.000.000 m<sup>3</sup> deve haver plano de emergência.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>-A inspeção é indicada e não obrigatória, podendo ser anual, a cada cinco ou dez anos;</li> <li>-Os dados devem ser publicados anualmente;</li> <li>-A cada dois anos deve haver análise detalhada dos resultados.</li> </ul>
<b>Brasil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Classificação de risco em 3 faixas: baixo, médio e alto</li> <li>-Classificação por potencial de dano ambiental em 3 faixas: Baixo, médio e alto</li> <li>-Classificação de risco e dano ambiental em seis faixas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Plano de Segurança de Barragens com atualizações periódicas, variando entre 5, 7 e 10 anos, conforme classificação;</li> <li>-Plano de ação de Emergência;</li> <li>-O responsável pela elaboração deve ter registro no CREA, com atribuições profissionais para projeto ou construção ou manutenção de barragens;</li> <li>-Inspeções anuais e segurança à cargo do empreendedor conforme regras estabelecidas pelo governo</li> <li>-Emissão de Declaração de Estabilidade de Barragem</li> </ul>

Fonte: O autor

Em se tratando de rompimentos com barragens, há ocorrências marcantes em diversos países que culminaram em mudanças em regras e padrões técnicos de controle. De acordo com Bowker e Chambers (2015), 33 dos 67 acidentes graves com barragens entre 1940 e 2010 ocorreram da década de 1990 em diante. A década entre 1955 e 1965 contabilizou 6 milhões de m<sup>3</sup> em vazamentos desse tipo. Entre 2005 e 2015, com Mariana na conta, foram 107 milhões de m<sup>3</sup>.

Dentre os casos mais emblemáticos está o da Cidade de Stava, na Itália. Em 19 de julho de 1985, uma represa de rejeitos de mineração de 180 mil m<sup>3</sup> se rompeu no sopé dos Alpes, no norte da Itália. A lama se derramou sobre Stava, um vilarejo de 20 prédios na província de Trento. 268 pessoas morreram; 20 sobreviveram, ainda que feridas. Esse é, pelo menos até agora (5 de fevereiro de 2019), o maior desastre com barragem de mineração na história. A onda de lama de Stava tinha 250 metros

de largura e em alguns pontos, no auge da inundação, o vilarejo ficou a 14 metros de profundidade (LUINO e DE GRAFF, 2012).

Segundo Luino e De Graff (2012) o acidente teve mais a ver com a ausência de um arcabouço legislativo para regular as instalações de mineração do que uma falta de entendimento dos fatores básicos que levaram à falha catastrófica.

Como solução, autores propõem uma legislação ambiental que limite as consequências adversas de barragens de rejeitos provendo um ambiente regulado, em que a segurança e o bem-estar da área próxima possa ser equilibrado com os benefícios econômicos das operações de mineração.

Quadro 9. Maiores acidentes com barragens no mundo

<b>Ano e local</b>	<b>Ocorrência</b>
<b>1970 - Zâmbia</b>	Mufullira. 89 mortes. 68.000 m <sup>3</sup> derramados na área de mineração.
<b>1972 – Estados Unidos</b>	Buffalo Creek: Vazamento de 500 mil m <sup>3</sup> de rejeito de carvão. 125 mortes, 500 casas destruídas e danos que ultrapassaram US\$ 65 milhões.
<b>1974 – África do Sul</b>	Bafokeng. 3 milhões de m <sup>3</sup> de rejeitos de prata seguiram por 45 km, resultando em 12 mortes.
<b>1985 - Itália</b>	Val di Stava, na Itália. Cerca de 180 mil m <sup>3</sup> de areia, água e lama varreram a cidade de Stava a uma velocidade de 90 km/h. 268 pessoas morreram.
<b>1994 – África do Sul</b>	17 mortos, 500.000 m <sup>3</sup> de lodo seguiram por 2 km.
<b>1998 - Espanha</b>	Aznalcóllar. Uma avalanche de 4,5 milhões de m <sup>3</sup> chumbo, zinco, cobre, cádmio e sulfetos varreu a vida dos rios Agro e Guadiamar. Os 63 quilômetros de material tóxico espalhados atingiram o Parque Nacional de Doñana, patrimônio histórico da Unesco, provocando uma contaminação em cadeia no meio ambiente em uma região que é ponto de

	parada para cerca de 300 espécies de pássaros raros que migram entre Europa e África.
<b>2000 - Romênia</b>	Borsa. 100.000 m <sup>3</sup> de cianeto contaminaram água com os rejeitos derramados. 22.000 toneladas de rejeitos contaminados por metais pesados foram liberados, contaminando água e solo.
<b>2000- Estados Unidos</b>	Kentucky. 2 milhões de m <sup>3</sup> de litros de lama de arsênico e mercúrio escorreram por centenas de quilômetros pelos rios Tug Fork, Big Sandy. Toda a vida aquática foi dizimada.

Fonte: Adaptado ICOLD (2001)

De um modo geral, observa-se que os principais países mineradores do mundo não obedecem a padrões comuns de regulação de barragens de rejeito. Cada nação tem um conjunto de regras mais ou menos específicas que aparentam estar relacionadas aos acidentes ocorridos com barragens em seus territórios bem como com seus aspectos sociais, econômicos e culturais, o que seria natural e é notoriamente o que aconteceu no Brasil.

O regramento utilizado na África do Sul guarda similaridades com o modelo Brasileiro e Mineiro, em especialmente na exigência de Inventário de Barragens e classificação de risco em três classes, conforme o potencial de dano ambiental. O país também determina a realização de inspeções por consultores independentes. Já na Austrália, outro grande país minerário, há também a classificação em três faixas e a realização de inspeções variando de 1 a 3 anos, assim como em Minas Gerais.

A Alemanha e Polônia, dos países avaliados, são os que apresentam sistemas teoricamente mais rigorosos. Na Alemanha, as inspeções são feitas por autoridades do estado e ocorre durante todas as fases do empreendimento: construção, primeiro enchimento e operação. Na Polônia a divisão das barragens se dá em quatro classes, sendo que para qualquer tipo de barragem é exigido estudo de impacto ambiental.

Na avaliação da legislação e normas no mundo aplicadas no mundo em comparação ao Brasil e especialmente a Minas Gerais, que possui regras próprias, percebe-se que não há diferenças significativas do que é praticado no mundo e o que

é recomendado por organismos internacionais para a gestão destas estruturas. No entanto, a recorrência de acidentes de grande porte no estado, ao contrário do que acontece nos países comparados, levam a conclusão de que o sistema de governança apresenta falhas e necessita de melhoramentos.

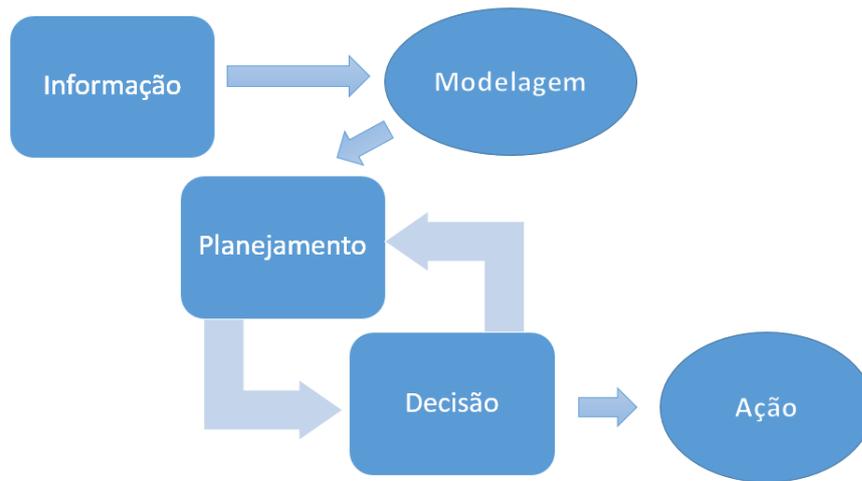
### **3.2. Modelagem como ferramenta para tomada de decisões**

Os desafios relacionados à gestão de barragens em Minas Gerais e no Brasil estão relacionados à diversos fatores direta ou indiretamente afetados pela sua construção, operação e eventual descaracterização. Dentre eles, destacam-se variáveis como características geológicas, hidrológicas, topográficas, geotécnicas, ambientais, sociais, econômicas, entre outras.

Nesse contexto, um dos principais desafios dos órgãos públicos responsáveis pelo acompanhamento dessas estruturas, em especial no que se refere ao licenciamento ambiental e a fiscalização, necessitam, no âmbito das suas ações, constantemente aperfeiçoar os métodos empregados para prover à sociedade mais segurança e controle, diante do seu grande potencial de dano ambiental. Desta forma, a tomada de decisão, considerado o grande número de barragens existentes no território mineiro, deve buscar as melhores variáveis para tal, de forma que, em um ambiente escasso de recursos financeiros e com múltiplas atribuições, o poder público possa fazer as melhores escolhas.

Campos e Soares-Filho (2016) avaliaram como a modelagem de sistemas ambientais pode atuar no suporte a tomada de decisões em políticas públicas, haja vista que quando se trata desta esfera, as decisões estão normalmente inseridas como atividades de promoção do bem-estar a sociedade e garantidoras do interesse público.

Figura 5. Fluxo da tomada de decisões suportada pela modelagem



Fonte: Adaptado de Biswas (1975)

A utilização dos Sistemas de Informação Geográficas – SIG potencializa o desenvolvimento de cenários por meio da adição de aspectos espaciais à análise, o que fortalece o planejamento. Tal abordagem pode ser organizada com objetivo a produzir uma conclusão sintética simples no final da análise, bem como a produção de conclusões ajustadas a diferentes combinações de prioridades (CAMPOS E SOARES-FILHO, 2016).

Em se tratando da formulação e execução das públicas ambientais, a ciência cada mais tem sido convocada para subsidiar a tomada de decisões, dada a sua complexidade (CAMPOS E SOARES-FILHO, 2016).

Biswas (1975) reforça que o processo decisório na área de gestão ambiental, tornou-se progressivamente complexo ao longo das décadas. Mysiak et al., (2008) pontua que as políticas ambientais cada vez mais envolvem interligadas e complexas escolhas com impactos socioambientais dada a crescente inter-relação entre o sistema ecológico e antropológico.

Rizzoli et al. (2008) indicam que na gestão dos recursos ambientais é importante definir os problemas a partir de uma análise integrada, suportada em sistemas computadorizados, de forma a dar suporte para a decisão ambiental frente a um número extenso de alternativas e resultados.

Desta forma, o planejamento de recursos naturais e as tomadas de decisão podem e têm sido resolvidos por meio de técnicas de modelagem para simular

cenários futuros ou avaliar as consequências das decisões políticas alternativas (Soares-Filho et al. 2007).

Soares-Filho et al (2007) e Oxley (2004) avaliam que a modelagem no âmbito das políticas públicas não é projetada somente para o melhor entendimento dos processos, e reforçam que o emprego da modelagem e simulação tem o objetivo de auxiliar na compreensão dos mecanismos causais e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais diante de diferentes cenários, de forma a ajudar a explorar os efeitos de políticas e identificar problemas, acrescentando uma ferramenta para melhorar o processo de tomada de decisão.

A modelagem tem sido também amplamente utilizada para classificação de risco e para simulação de impactos decorrentes de rompimentos de barragens. Esses estudos têm crescido significativamente nos últimos anos. Pedrosa (2017) reavaliou o sistema de classificação de barragens utilizado pela ANM de forma a avaliar sua eficácia e avaliar se a metodologia utilizada reflete a real situação das barragens.

No trabalho, o autor selecionou, de forma aleatória, uma amostra contendo 14 (quatorze) barragens de mineração, de diversos portes, localizadas no estado de Minas Gerais, que foram vistoriadas e reclassificadas a partir dos dados levantados em campo. Em relação ao Dano Potencial Associado, 79% das barragens pesquisadas sofreram variação nas informações, o que resultou em uma nova classificação, aumentando o potencial de dano, em 36% das barragens. De acordo com Pedrosa (2017), a segurança de barragens de mineração é um tema bastante complexo e deve ser objeto de discussão constante para redução dos riscos inerentes à implantação de empreendimentos desta natureza.

Para este trabalho a proposta é utilizar a modelagem para fins de tomada de decisão com vistas a priorização da fiscalização, de forma que não se buscou alterar a classificação a partir das características técnica de barragens já utilizada pelos órgãos públicos competentes.

### 3.2.1. Análise multicritério

Métodos multicritérios têm sido muito utilizados na solução de problemas de tomada de decisão, uma vez que procuram esclarecer ao decisor as possibilidades de escolhas e apoiar o processo decisório na busca da melhor solução.

A utilização de técnicas de análise multicritério para a resolução de problemas (que resulta em tomada de decisão) envolve sobretudo a estruturação de um modelo, considerando o objetivo a ser alcançado, e a definição de critérios que representam os aspectos relevantes da realidade que em alto nível o determinam.

De modo geral, esta abordagem é fundamentada na construção de um procedimento abrangente e racional para estruturar o problema, representando e quantificando seus elementos. Trata-se, portanto, de um processo de modelagem da situação-problema a partir de suas variáveis com foco em uma específica tomada de decisão.

Segundo Lisboa (2002), a utilização de um método multicriterial de auxílio à tomada de decisão se justifica pelo fato de considerar critérios quantitativos e qualitativos simultaneamente na análise e ao mesmo tempo incorporar a experiência e a preferência dos tomadores de decisão. Métodos de análise multicritérios são amplamente utilizados na solução desses problemas (tomada de decisão), uma vez que admitem integrar diversos critérios no estudo de uma situação complexa e possibilitam esclarecer ao tomador de decisões as possibilidades de escolha.

Clemen (1991) considera que o propósito da análise de decisão é ajudar o tomador de decisões a pensar sistematicamente a respeito de grandes problemas e melhorar a qualidade das decisões, sendo que há quatro fontes de fatores que dificultam a tomada de decisão:

- Complexidade do problema
- Incertezas que envolvem as circunstâncias
- Tratar vários objetivos num mesmo problema
- Uma ou várias perspectivas que conduzam a conclusões adversas (o resultado não é sistematicamente o mesmo)

Para Baasch (1995), nos processos multicriteriais existe um tomador de decisões (ou vários), que toma a decisão e opera segundo um esquema sequencial de fases, que não é estático e nem linear, que pressupõe realimentações, revisões e formulações no decorrer do processo. As etapas básicas do processo de tomada de decisões seriam:

- Definição das ações potenciais ou desejáveis a serem analisadas
- Formulação dos critérios de análise
- Avaliação das ações com base em cada critério
- Agregação final.

Carvalho (1996) propõe que um problema de decisão se fundamente em um processo lógico de auxílio à decisão, construído a partir das várias pautas envolvidas na estruturação do problema:

- A construção do modelo de decisão compreende a identificação das variáveis intervenientes no problema, a caracterização das relações lógicas entre essas variáveis e a expressão dessas relações em termos matemáticos formais.
- Estabelecer as condições de contorno do problema, ou seja, da área objeto de intervenção e das alternativas de intervenção viáveis.
- Listar tipos de consequências que serão consideradas e estabelecer uma unidade de medida comum que possibilite compará-las em relação a critérios que especifiquem a preferência do decisor.
- Representar relações por meio de árvores de decisão, apresentando interdependências existentes entre as variáveis do problema.
- Estabelecer o critério de decisão.

No contexto desta proposta, baseado nas premissas acima relatadas, a análise multicritério permite adicionar novas variáveis à tomada de decisão referente à execução de políticas públicas de barragens, possibilitando uma nova classificação dessas estruturas.

### 3.3. Sinergia e cumulatividade nos impactos ambientais

De acordo com a Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente, a ausência da avaliação dos efeitos cumulativos e sinérgicos dos impactos ambientais de empreendimentos potencialmente poluidores do meio ambiente é uma das principais lacunas da política ambiental brasileira (ABEMA, 2013).

O conceito de impacto cumulativo foi introduzido juntamente com o primeiro sistema de Avaliação de Impacto Ambiental - AIA, pelo *National Environmental Policy Act* – NEPA, em 1970, nos Estados Unidos da América, que define impactos cumulativos como o impacto que resulta do impacto incremental da ação quando acrescia de outras ações passadas e presentes e de ações futuras razoavelmente previsíveis (EPA, 1998).

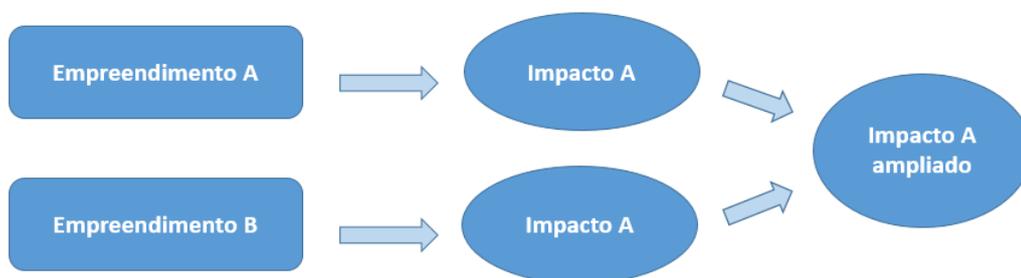
Burris e Canter (1997) evidenciam o que os impactos cumulativos são de natureza aditiva, interativa, sinérgica ou irregular (imprevisível), que se acumulam no espaço e tempo. Para Egler (2001), os impactos cumulativos recebem a designação de diferentes formas de impactos, sendo todas essas tipologias impactos cumulativos, a saber:

- Impactos aditivos dos empreendimentos, tais como projetos agrícolas em um território;
- Impactos sinérgicos, no qual o impacto total de diferentes projetos excede a mera soma dos impactos individuais;
- Impactos de limite ou de saturação, onde o ambiente pode ser resiliente até um certo nível, a partir do qual se torna rapidamente degradado;
- Impactos induzidos, onde um projeto de desenvolvimento pode estimular/induzir projetos secundários, sobretudo de infraestrutura;
- Impactos por estresse de tempo ou de espaço, onde o ambiente não tem nem tempo nem espaço para se recuperar de um impacto antes que seja submetido a outro;
- Impactos globais, tais como os que ocorrem na diversidade biológica e no clima do planeta.

Dessa forma, impactos cumulativos são gerados de outros impactos incrementais de mais de um empreendimento que se acumulam no tempo ou no espaço, resultando em um efeito maior que o efeito do impacto individual de cada empreendimento, sobre um determinado componente, quanto analisado separadamente (CARVALHO, 2014).

Como exemplo de exemplo de impactos cumulativos, pode-se citar o lançamento de esgoto in natura, por fontes difusas, em um curso d'água, na qual a soma dos lançamento provocará maior degradação da qualidade das águas, o corte de vegetação feito por diversos empreendimentos em uma mesma paisagem que pode provocar efeitos deletérios sobre o ecossistema e a construção de barragens de rejeito de mineração, que se se construídas de forma sequencial em uma mesma drenagem, podem gerar impactos maiores em caso de eventual rompimento. A Figura 6 apresenta o diagrama de geração de impactos cumulativos.

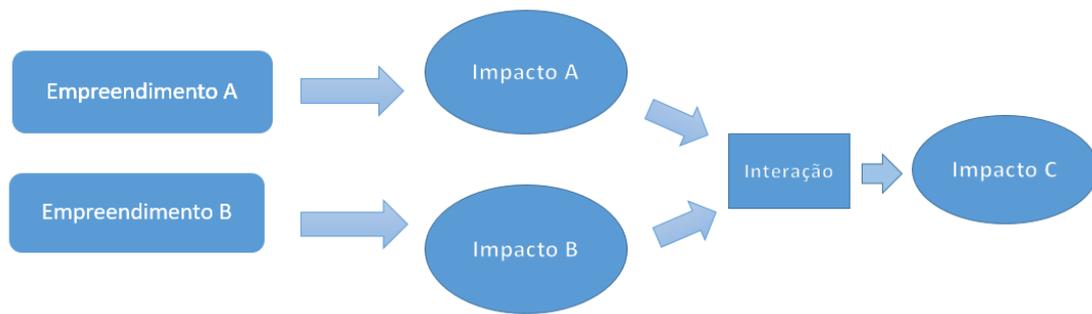
Figura 6. Representação Impacto Ambiental Cumulativo



Fonte: Adaptado de MMA, 2002

O impacto sinérgico (ou interação de impactos), segundo o Ministério de Meio Ambiente (MMA, 2002) é aquilo que tem a capacidade de agir em sinergia ou ação cooperativa de agentes discretos, no caso, entre impactos diferentes do mesmo projeto ou de projetos diferentes em que efeito total dá origem a outro impacto diferente ou maior que a soma dos efeitos tomados independentemente. A Figura 7 apresenta o diagrama da geração de impactos sinérgicos.

Figura 7. Representação Efeito Sinérgico



Fonte: Adaptado de MMA, 2002

Oliveira (2008) destaca que a industrialização, a expansão e prática agrícola, a ocupação urbana e industrial desordenada e mal planejada vem gerando impactos ambientais e causando grandes problemas em diversas partes do mundo. Muitos dos impactos provocados por estas ações não são considerados conjuntamente, mas ao longo do tempo provocam impactos significativos.

No Reino Unido, Cooper e Sheate (2002) avaliaram 50 Estudos de Impacto Ambiental emitidos para diferentes tipos de projeto, entre 1989 e 2000, e constatou que os impactos cumulativos são mencionados em apenas 48% dos estudos e que em apenas 18% foi apresentada uma discussão sobre este tipo de impacto. O estudo concluiu que os impactos cumulativos são interpretados de formas variadas e que sua avaliação nos Estudos de Impacto Ambiental está distante de ser adequada.

No Brasil, a avaliação de impacto ambiental de projetos tende a ser regularmente restrita à consideração dos impactos diretos do empreendimento, deixando de lado uma diversidade de outros possíveis impactos (OLIVEIRA, 2008).

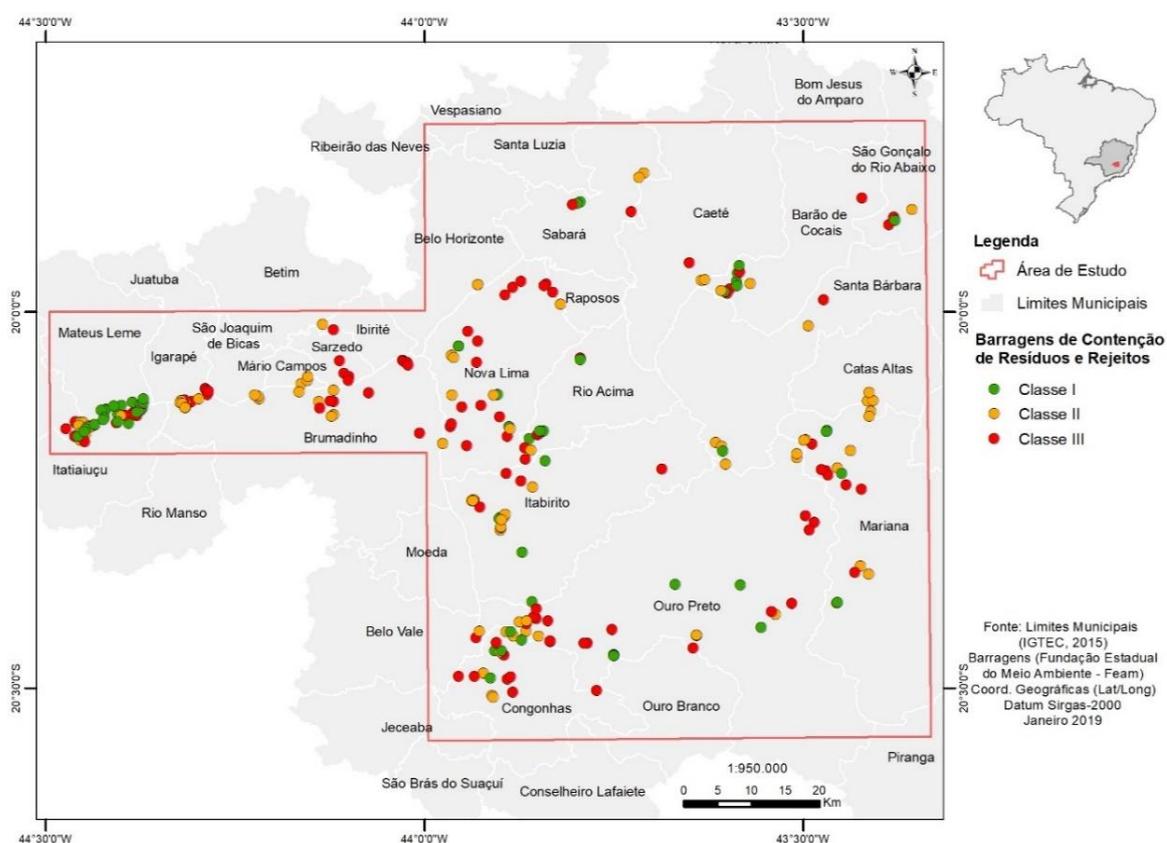
Carvalho (2014) defende que a avaliação de impactos cumulativos e sinérgicos é de extrema importância por sua capacidade de visualizar o longo prazo e a interatividade na região do projeto contribuindo, assim, para o desenvolvimento sustentável, ajudando no processo de tomada de decisão.

Em Minas Gerais, em se tratando da análise dos potenciais impactos ambientais de possíveis acidentes envolvendo o rompimento de barragens de rejeito, resta evidente, a partir dos casos práticos relatados nos capítulos, o alto potencial de cumulatividade e sinergia dos efeitos negativos desses empreendimentos nas populações localizadas à jusante.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para fins da avaliação da viabilidade da proposta metodológica, a área escolhida foi o Quadrilátero Ferrífero (QFMG), região reconhecida internacionalmente pela ocorrência de significativos recursos minerais e na qual estão localizadas 220 estruturas, o que corresponde a 32% das barragens cadastradas no estado. A Figura 8 apresenta a localização das barragens no QF e o Quadro 10 o percentual das barragens no QF em relação a Minas Gerais.

Figura 8. Localização barragens no Quadrilátero Ferrífero



Fonte: O autor

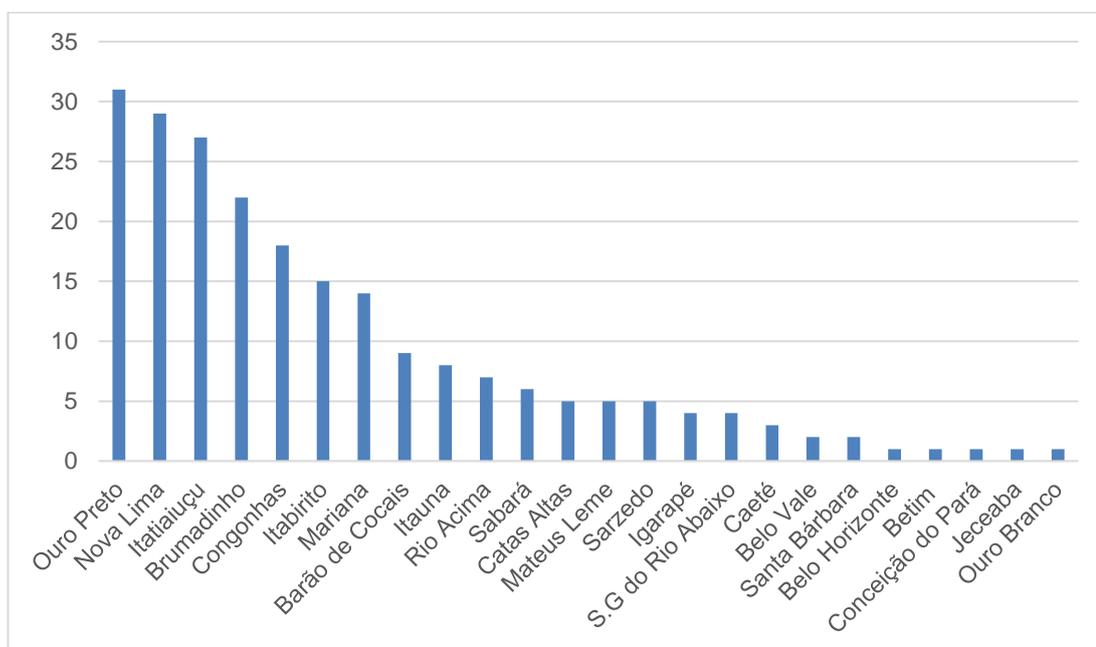
Quadro 10. Comparativo barragens MG x Barragens no QF

Barragens em MG	Barragens no Quadrilátero
698	220
100%	32%

Fonte: O autor

Os Municípios com maior número de barragens são Ouro Preto, Nova Lima, Itatiaiuçu, Brumadinho e Congonhas, nos quais estão localizados 57% das estruturas.

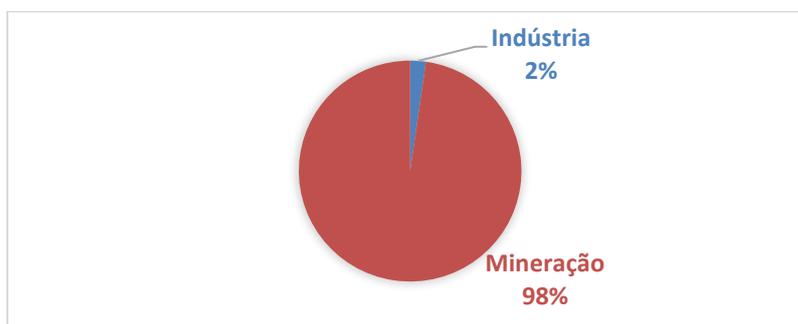
Gráfico 6. Municípios do QF com maior número de barragens



Fonte: O autor

No entanto cabe destacar que no QF, 98% das barragens são de mineração, ao passo que no estado esse percentual é de 62%, conforme apresentado no Gráfico 7.

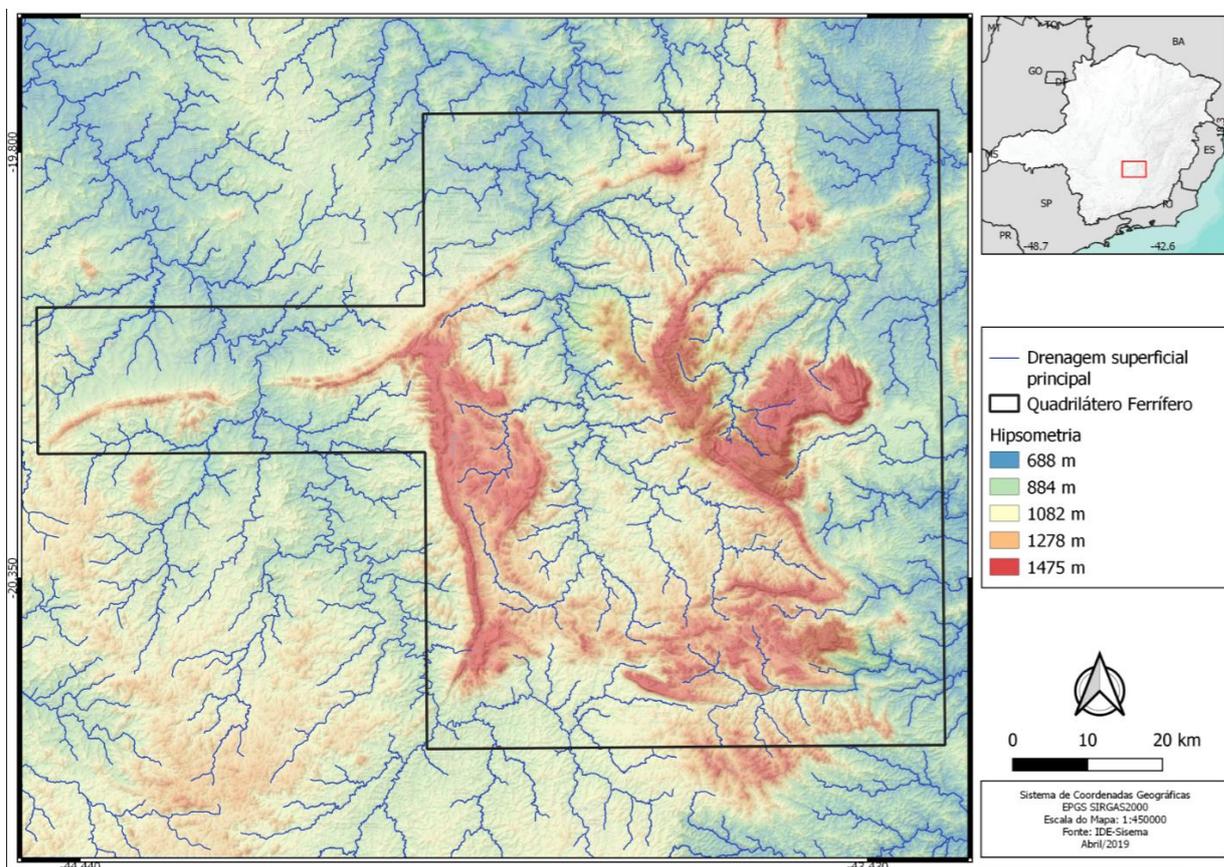
Gráfico 7. Divisão por tipologia das barragens localizadas no QF



Fonte: O autor

O Quadrilátero Ferrífero ocupa uma área de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup> e está localizado na Região Central de Minas Gerais. A região abrange trinta e seis municípios e possui topografia acidentada.

Figura 9. Topografia do QF



Fonte: O autor

Em relação a ocupação antrópica, a região é densamente povoada e abriga a maior concentração urbana de Minas Gerais, com cerca de 3,5 milhões de habitantes, sendo a mineração a base da economia de vários desses municípios, uma vez que o QF é a província mineral mais importante do sudeste do Brasil (RUCHKYS et al, 2012).

Segundo Ruchkys e Machado (2013) as atividades minerárias desenvolvidas na região ao longo dos últimos 300 anos desempenharam importante papel na ocupação do interior brasileiro. Segundo Machado (2009), na primeira década do século XX, a descoberta de extensas reservas de manganês e ferro colocou mais uma vez a região em evidência no cenário internacional e impulsionou novamente as atividades mineiras, sendo que estas permanecem intensas até os dias atuais. Além

das grandiosas reservas de minério de ferro, existem ainda ocorrências de Ouro, urânio, prata, arsênio, enxofre, bário, topázio imperial, talco, serpentina, agalmatolito, calcário, dolomito, quartzo, caulim, grafita, rochas ornamentais, areia, argilas, entre outras.

#### **4.1. Panorama ambiental**

A região é cabeceiras de duas das principais bacias hidrográficas de Minas Gerais, a do Rio São Francisco e do Rio Doce, sendo que dois afluentes do São Francisco, o Rio das Velhas e o Rio Paraopeba são responsáveis pelo abastecimento de grande parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. A grande diversidade de caracteres hidrológicos, pedológicos, topográficos, geológicos e geomorfológicos, cria condições suficientes à configuração de grande riqueza de flora na região, que tem sua cobertura vegetal partilhada entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica (RUCHKYS et al, 2012).

Estes dois biomas compõem a lista dos 34 *hotspots* existentes na Terra e estão entre os mais importantes patrimônios naturais do Brasil. Por estar em área de transição dos dois biomas, o QF apresenta ecótonos, áreas caracterizadas pela alta diversidade biológica e endemismo, por apresentar elementos dos dois domínios. (MITTERMEIER et al., 1998).

O QF é considerado como área prioritária para conservação no Estado de Minas Gerais, com importância biológica extrema devido à alta riqueza florística e faunística, à presença de diversas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (DRUMMOND et al., 2005).

Em termos de área legalmente protegidas, estão localizadas no QF um expressivo número de Unidades de Conservação, tanto públicas (federais, estaduais e municipais) como privadas.

Quadro 11. Unidades de Conservação no QF

	<b>Federais</b>	<b>Estaduais</b>	<b>Municipais</b>
<b>Proteção Integral</b>	1	13	16
<b>Uso Sustentável</b>		15	6
<b>Reservas Particulares (RPPNs)</b>	34		
<b>Total</b>	<b>85</b>		

Fonte: IDE Sisema, 2019

Segundo Jacobi et al., (2008) o QF vem sofrendo uma intensa modificação da sua paisagem, com impactos ainda pouco estudados sobre o meio ambiente, oriunda das diversas atividades humanas na região, principalmente, a mineração.

Além da intensa ocupação urbana e uso intensivo dos recursos naturais, a região também enfrenta desafios em relação ao seu futuro. Segundo Ruchkys e Machado (2013), o esgotamento dos recursos minerários e consequente encerramento da atividade extrativa no QF podem levar a um processo de declínio social, desertificação humana e degradação patrimonial e ambiental como já ocorrido em outras fases e lugares na história da mineração.

Os impactos ambientais de barragens de rejeito do Quadrilátero Ferrífero foram avaliados por Andrade (2014). Os principais impactos ao meio físico, relacionados à construção de uma barragem de rejeito da mineração de ferro, são: alteração da paisagem, a alteração das propriedades do solo, erosão, assoreamento de cursos de água, alteração da dinâmica hídrica superficial e subterrânea, alteração da qualidade da água superficial, alteração da qualidade do ar e alteração nos níveis de pressão sonora.

As barragens também apresentam impactos significativos ao meio biológico e ecossistemas naturais. A perda de espécimes da flora, alterações populacionais da fauna, afugentamento com perturbações da fauna, perda de parcelas de áreas de preservação permanente (APP), alteração na dinâmica de ecossistemas aquáticos e alteração do metabolismo vegetal (ANDRADE, 2014).

A autora conclui que em relação à avaliação de impactos ambientais de barragens de rejeito da mineração de ferro, estes possuem elevada magnitude no

meio físico, no meio biológico e ecossistemas naturais e no meio socioeconômico (ANDRADE, 2014).

Nesse contexto, optou-se por trabalhar nesta região uma vez que esta apresenta ambientes únicos e com alta diversidade biológica, além de abranger duas importantes bacias hidrográficas, do rio Doce e do rio São Francisco, bem como em função do elevado número de minas e barragens, fruto da intensificação, ao longo das últimas duas décadas, da atividade minerária em função da alta demanda pelo minério de ferro no mundo (DINIZ et al., 2014).

## 5. MATERIAIS E MÉTODO

Neste capítulo são apresentados os materiais e os procedimentos metodológicos que foram utilizados para alcançar os objetivos propostos para este trabalho, apresentando subsídios para análise dos dados.

### 5.1. Materiais

Os materiais utilizados foram subdivididos, em categorias, de acordo com suas características específicas conforme descrito a seguir:

#### Dados cartográficos

- Modelo Digital de Elevação (MDE) ASTER – Resolução: 25 metros;
- Hidrografia – Base Hidrográfica Ottocodificada – IGAM/UFMG 2010 – Escala 1:50.000;
- Localização de Barragens de Contenção de Resíduos e Rejeitos (2017) – Banco de Declarações Ambientais / Fundação Estadual do Meio Ambiente;
- Núcleos populacionais (2017): mapeamento realizado a partir de imagens de satélite disponibilizadas na plataforma Google Earth Pro;
- Reservatórios (2015) – Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

#### Softwares

- QGIS 3.4;
- ArcGIS 10.2;
- Google Earth Pro 7.3.

#### Dados alfanuméricos

- Inventário de Barragens do Estado de Minas Gerais Ano 2016 – Banco de Declarações Ambientais / Fundação Estadual do Meio Ambiente.

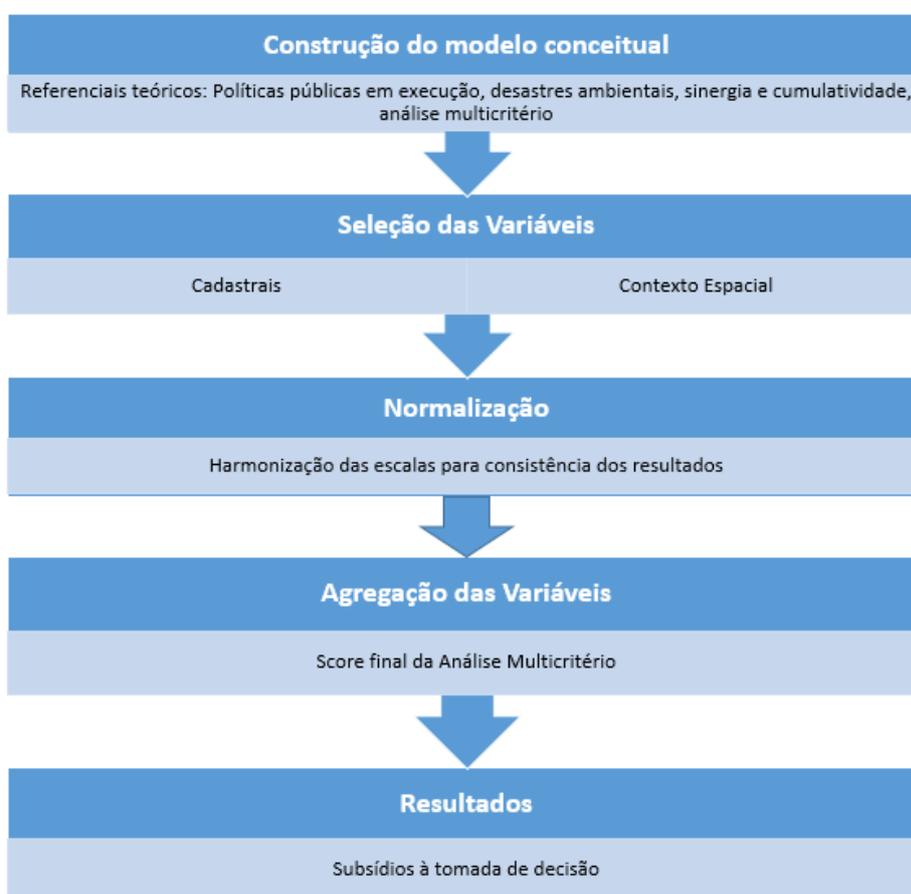
## 5.2. Método

A proposta metodológica tem o objetivo de integrar informações das barragens de contenção de rejeitos registradas na FEAM, baseando-se na abordagem da análise multicritério.

O *Score* obtido através da análise, conjugado com a condição verificada nas fiscalizações das estruturas pode ajudar no processo de acompanhamento e direcionamento de ações e contribuir para o acompanhamento de barragens em Minas Gerais.

A metodologia proposta para este estudo pode ser resumida nos seguintes procedimentos: construção do modelo conceitual, em que é realizada a abstração do universo do problema e estruturação dos critérios/variáveis relacionadas; definição de peso para os critérios; normalização; e combinação dos critérios.

Figura 10. Diagrama da metodologia utilizada



O grupo de critérios propostos para este estudo combina informações de duas fontes relacionadas às barragens: aquelas relacionadas às características das barragens, por meio do cadastro da FEAM, e aquelas associadas ao contexto espacial de inserção da estrutura, obtidas com o apoio de técnicas de geoprocessamento.

O primeiro conjunto é composto pelos critérios: “Classe”, “Situação de Estabilidade”, “Volume” e “Método Construtivo”.

As barragens são classificadas em três classes de acordo com o potencial de dano ambiental: Classe I (Baixo Potencial); Classe II (Médio Potencial); e Classe III (Alto Potencial). Considera-se para classificação o somatório dos valores de parâmetros da estrutura e características da área à jusante, nos termos da DN COPAM nº 62.

A “Situação de Estabilidade” registrada no cadastro da barragem reflete sua condição de segurança, verificada através das auditorias, e tem o objetivo monitorar a situação de probabilidade da ocorrência de acidentes com danos ambientais.

O “Volume” representa a quantidade de material armazenado na estrutura. Optou-se por utilizar essa variável dado ser o impacto diretamente proporcional à quantidade de rejeito lançada na natureza em eventual situação de rompimento.

O “Método Construtivo” diz respeito à técnica de engenharia utilizada na construção e ampliação (alteamentos) na barragem. Entre as desvantagens desse método de construção está a baixa segurança devido à susceptibilidade à liquefação e à ocorrência de infiltração no maciço (Silveira e Reads, 1973). Cabe ressaltar que os últimos 3 acidentes em MG em ocorreram barragens de rejeito (Herculano - 2014, Samarco – 2015 e Vale – 2019) construídas por esse método.

O conjunto de critério de contexto espacial é composto por: “Outra barragem à Montante e Jusante”, “Agrupamento com Contexto Único de Drenagem Local”, “Distância ao núcleo populacional mais próximo” e “Reservatório à jusante”. Foram empregadas ferramentas geotecnológicas e técnicas de geoprocessamento para obtenção dessas informações a partir do processamento de dados digitais de elevação do terreno. A justificativa e o detalhamento metodológico desses critérios serão abordados em tópico específico.

### 5.3. Apresentação das variáveis

Considerando o ineditismo da proposta não foram identificadas na literatura referências para definição dos pesos para o modelo estabelecido. Também não foi possível submeter as variáveis à consulta de especialistas para a mesma finalidade. Desta forma, em uma primeira proposta, foram utilizados pesos iguais para os critérios. O objetivo foi analisar e testar a potencialidade do modelo para posterior avaliação mais crítica em cada variável. Dessa forma, desenvolveu-se um cenário linha de base para a evolução do modelo. O Quadro 12 o valor atribuído a cada variável.

Quadro 12. Pesos estabelecido para as variáveis

Variável	Peso
<b>Classe</b>	0,125
<b>Situação de Estabilidade</b>	0,125
<b>Outra Barragem Montante/Jusante</b>	0,125
<b>Contexto Único de Drenagem</b>	0,125
<b>Distância a Núcleos Populacionais</b>	0,125
<b>Distância a Reservatório à Jusante</b>	0,125
<b>Volume</b>	0,125
<b>Método Construtivo Montante</b>	0,125
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>

Fonte: O autor

Visto que na análise multicritério proposta neste estudo consideramos ao mesmo tempo diversos critérios de natureza e escalas diferentes, para garantir a consistência dos resultados, foi realizada a harmonização das escalas através da normalização dos valores.

No caso das variáveis “Outra Barragem à Montante e Jusante”, “Agrupamento com Contexto Único de Drenagem Local” e “Método Construtivo Montante” foram atribuídos valores 1 ou 0 para indicar o enquadramento da barragem na situação (1) ou o não enquadramento (0).

Para as variáveis categóricas “Classe” e “Situação de Estabilidade”, foram atribuídos valores dentro da escala de 0 a 1 em função direta ao grau de importância da categoria para o enquadramento do potencial dano ambiental e situação de

segurança. Assim, no caso da Classe, foram atribuídos os valores 1, 0,5 e 0,3 respectivamente para as categorias Classe III, Classe II e Classe I. Para a situação de estabilidade, 0,5 para a categoria de estabilidade garantida e 1 para as categorias de estabilidade não garantida ou em análise.

Para as variáveis “Distância Núcleo Populacional”, “Distância Reservatório à Jusante” e “Volume” foi aplicada lógica aritmética na qual para barragens que representa maior potencial de impacto (no caso da variável “volume” a barragem de maior volume e no caso das variáveis “Distância Núcleo Populacional” e “Distância Reservatório” as mais próximas). Desta forma, no caso do volume, o maior volume recebeu o valor máximo do peso (1) e o menor volume o valor mínimo (0), sendo que os demais valores das outras barragens variaram proporcionalmente dentro desta escala. No caso das distâncias a núcleos populacionais e barragens, à menor distância foi atribuído valor (1) e à de maior distância o valor (0).

Por fim, após a definição dos pesos para os critérios e obtenção dos valores normalizados para uma escala de zero a um é realizado o processo de agregação, ou seja, cálculo do *score* final da análise multicritério.

### **5.3.1. Variáveis de contexto espacial**

Neste trabalho, as variáveis de contexto espacial são produtos derivados de ferramentas geoespaciais sobre dados digitais de elevação do terreno, o que permitiu a obtenção de resultados menos subjetivos.

#### **5.3.1.1. Outra barragem à montante ou jusante**

Sob a perspectiva da avaliação de risco comparativo<sup>1</sup>, a disposição espacial das estruturas de contenção é uma característica importante do contexto espacial. Em muitos casos há ocorrência de conexão hidráulica direta de drenagem superficial entre duas ou mais barragens de contenção, de modo que, em uma distância no terreno relativamente curta, elas apresentam conectividade direta.

---

<sup>1</sup> Não diz respeito ao risco de rompimento de projeto, nem mesmo de probabilidade de ocorrência, mas sim ao processo de comparação, para efeito de distinção entre estruturas, utilizando uma característica do contexto espacial importante que pode afetar a dinâmica do fluxo do material em caso de rompimento.

Essa potencial sinergia entre estruturas pode representar uma mudança nas características dos materiais armazenados e na dinâmica do fluxo nos casos de rompimento, podendo conseqüentemente potencializar o dano socioambiental associado. Portanto, objetivou-se identificar a ocorrência desse aspecto para as barragens do escopo da análise.

A identificação é fundamentalmente baseada em Modelos Digitais de Elevação – MDE, que representam uma fonte para o conhecimento altimétrico, das características geomorfológicas, da rede de drenagem, entre outros. Para este estudo foi utilizado a base ottocodificada do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2012) que está disponibilizada na Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE SISEMA).

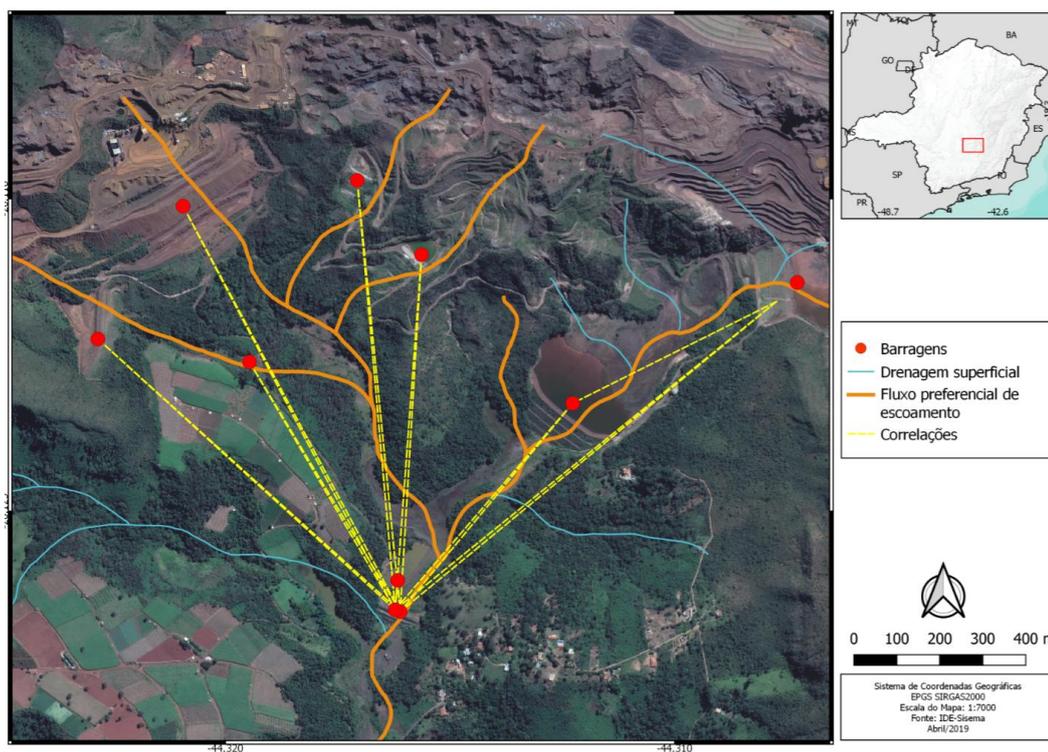
A base ottocodificada é um projeto conjunto entre o Instituto Mineiro de Gestão das águas IGAM e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e é composta de um arquivo contendo a malha de drenagem e outro contendo a ottobacia de cada trecho.

Em síntese, a base foi construída a partir do modelo digital de elevação da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) e foi codificada de maneira a permitir a automação de uma série de consultas, como a delimitação de bacias e sub-bacias, por exemplo.

Para obtenção da área potencial de drenagem de cada barragem, inicialmente é calculada a direção de fluxo, determinada pela direção do declive mais acentuado (ou queda máxima) a partir de cada célula da base ottocodificada. Posteriormente foi identificada a ocorrência de outras estruturas utilizando métodos de análise de interseção espacial. A existência de interseção indica que há conectividade através do caminho de fluxo.

A Figura 11 representa a ocorrência de barragens com estruturas à montante e à jusante.

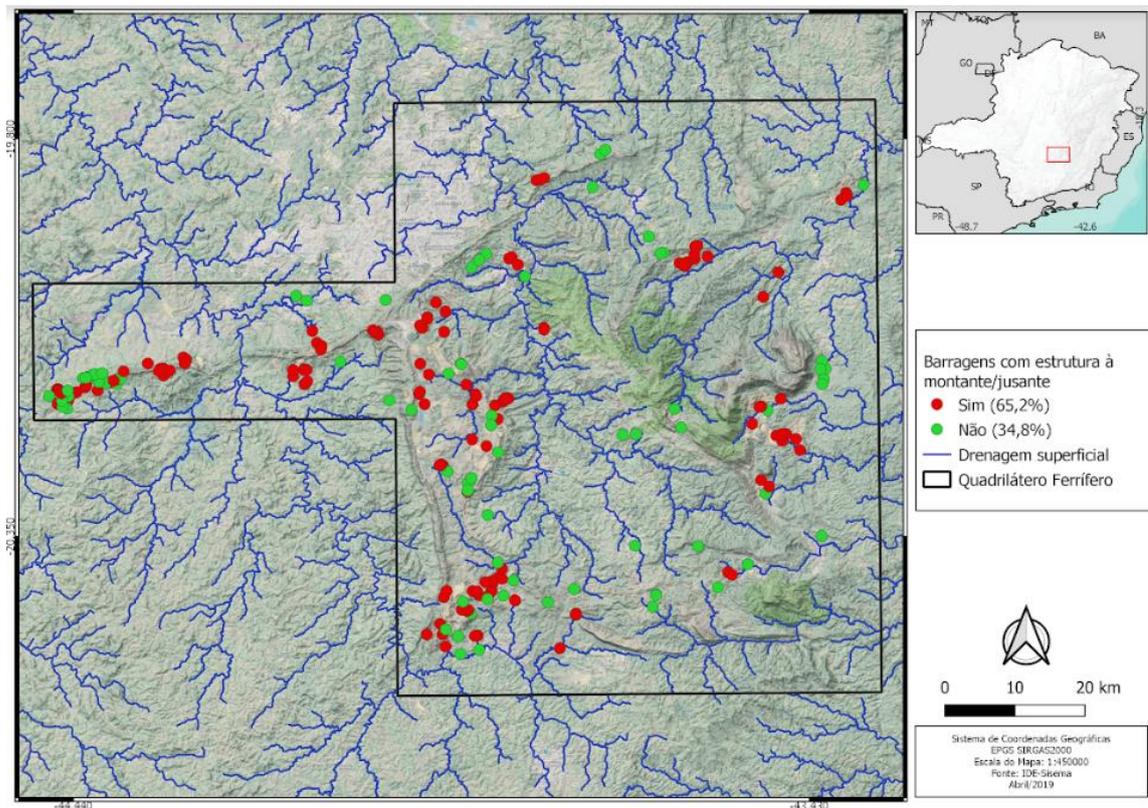
Figura 11. Representação variável outra barragem à montante e jusante



Fonte: O autor

A Figura 12 é o apresenta o *layer* da variável. Pode-se verificar que 65,2% das barragens do QF se enquadram nesta condição.

Figura 12. Variável barragens montante e jusante



Fonte: O autor

### 5.3.1.2. Agrupamento com contexto único de drenagem local

A análise prévia do padrão de distribuição espacial, do contexto topográfico e de vizinhança em que estão inseridas as barragens registradas para a área de estudo indicam a existência de estruturas que compartilham um único contexto de drenagem a jusante dentro da microbacia. Neste caso, embora não apresentando conexão direta de drenagem superficial, as barragens têm um mesmo direcionamento do fluxo nos casos de rompimento.

Isso significa que um mesmo ponto na superfície do terreno, em que pode ocorrer alguma classe de objeto espacial de interesse ambiental (área de preservação permanente, unidade de conservação, etc.) ou mesmo uma ocupação humana, está submetido ao impacto direto potencial de um grupo de barragens, visto que tal localização é o ponto de confluência do fluxo provável do material armazenado em

caso de rompimento. Esse contexto espacial, portanto, representa um acúmulo local de risco, como exemplificado na Figura 13.

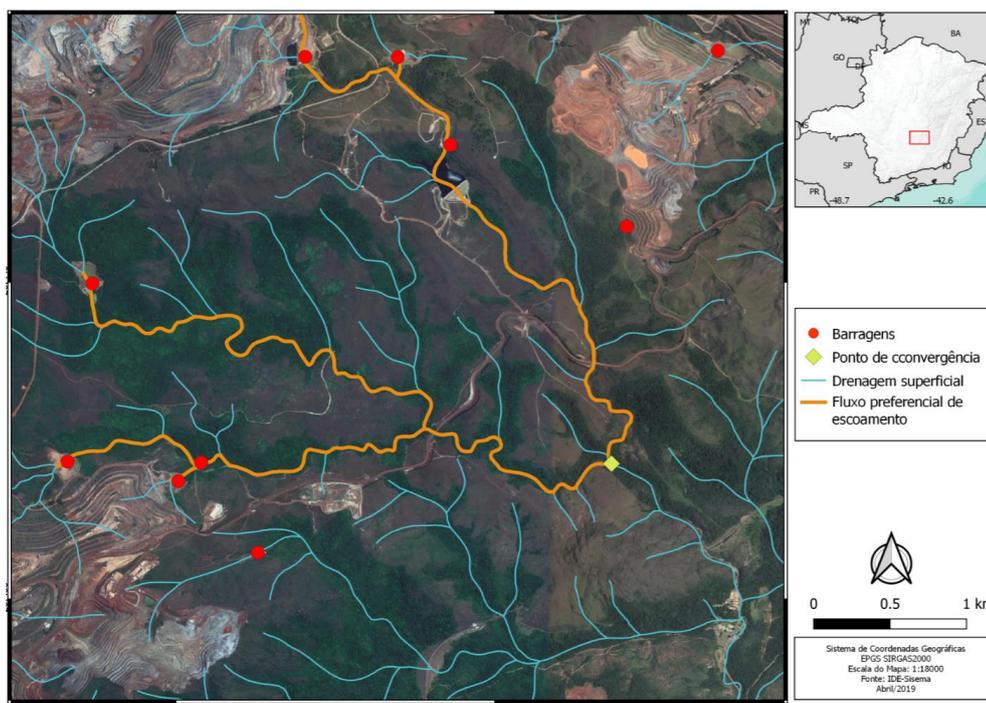
Do ponto de vista das estruturas, representa o compartilhamento de elementos contabilizados para avaliação do dano potencial associado. Por outro lado, representa para o ponto compartilhado um acúmulo, conseqüentemente, aumento do risco de sofrer o impacto direto do rompimento de barragens.

A identificação dos agrupamentos foi realizada a partir da análise integrada do mapeamento individual do roteamento de fluxo abaixo (*downslope*) de cada barragem. Esse roteamento simula, em termos de drenagem superficial, o caminho mais provável da curva descendente a partir do ponto de interesse (barragem) ao longo do modelo digital de elevação.

Para a definição da variável com contexto único foi utilizada a base otocodificada, para a identificação do trecho do curso d'água que compartilhavam de uma mesma convergência de caminho preferencial de eventual escoamento de rejeito.

Os grupos ocorrem quando duas ou mais barragens, de significativo porte, apresentam confluência de rotas em uma extensão significativamente curta.

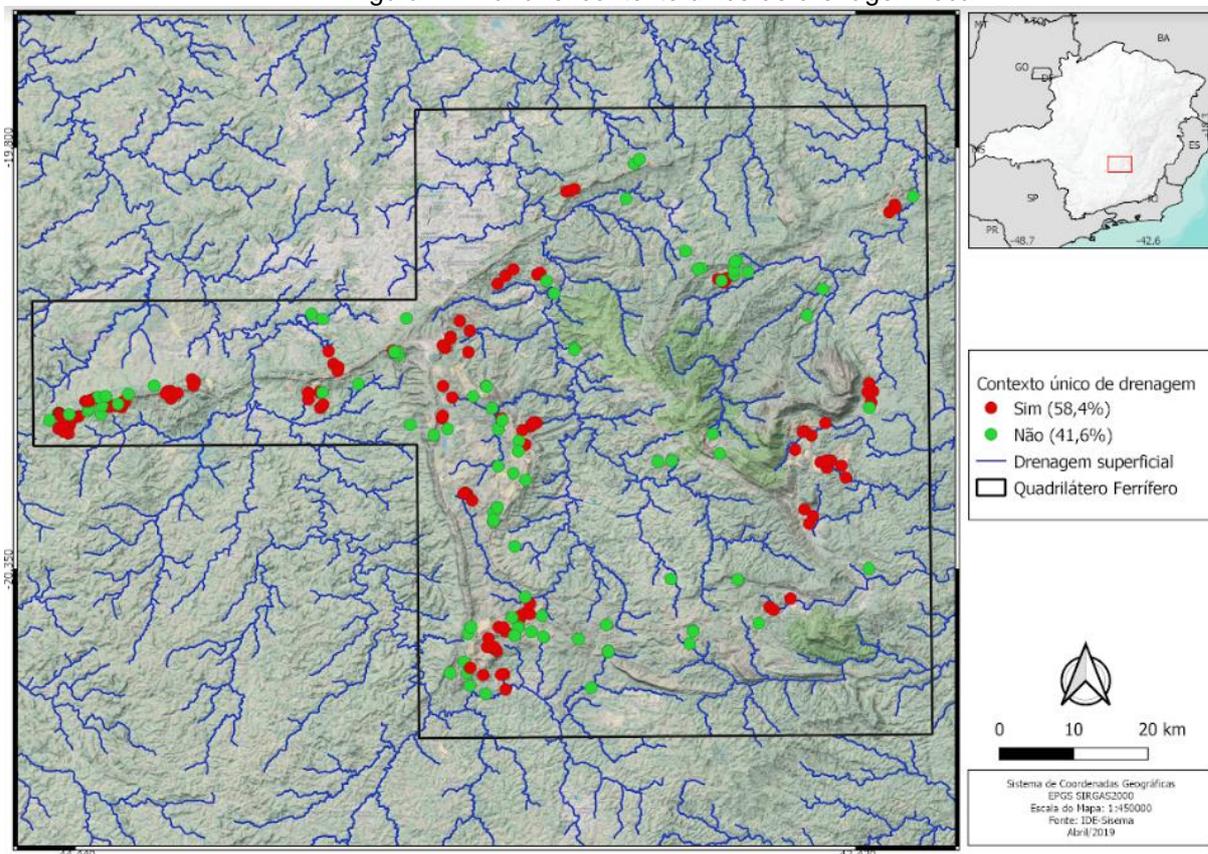
Figura 13. Ponto de confluência do fluxo provável do material armazenado em caso de rompimento



Fonte: O autor

A Figura 14 apresenta o *layer* gerado para a variável. No QF 58,2% das barragens se enquadram nesta condição.

Figura 14. Variável contexto único de drenagem local



Fonte: O autor

### 5.3.1.3. Distância a núcleos populacionais

O grau de presença de ocupações humanas na área a jusante da barragem de contenção de resíduos e rejeitos é, de acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 87 de 17 de junho de 2005, um parâmetro considerado para sua classificação quanto ao dano potencial. Esse critério considera a presença da ocupação dentro de um limiar de distância obtido através de estudos específicos para enquadramento.

Por outro lado, em circunstâncias em que há necessidade de estabelecer uma maior distinção entre estruturas com a mesma avaliação para esse parâmetro, o detalhamento da distância entre a barragem e a ocupação humana pode ser

apropriado. Nesse sentido, de acordo com a avaliação proposta neste estudo, foi desenvolvida uma rotina metodológica para execução deste processo de medida.

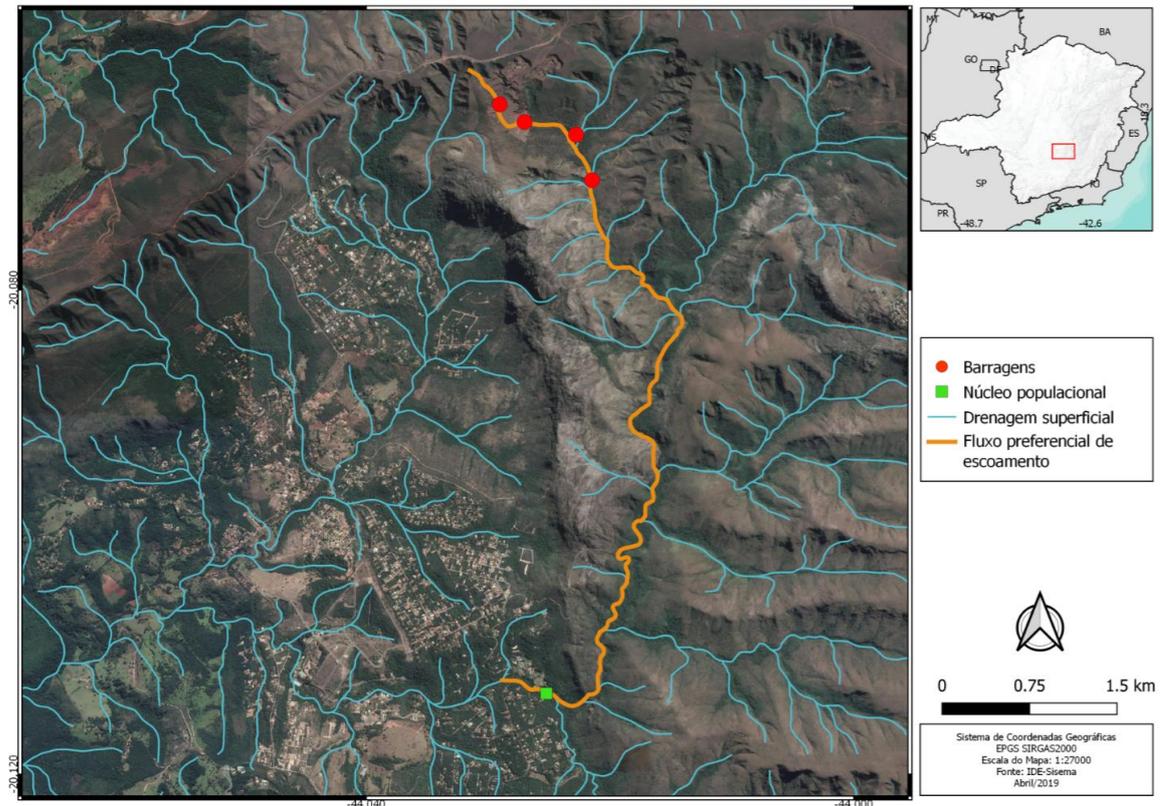
Ela é composta das seguintes etapas:

- Mapeamento individual do roteamento de fluxo abaixo (*downslope*) de cada barragem conforme base ortocodificada;
- Análise de interseção espacial, quando é identificada a existência de núcleos populacionais a jusante da barragem;
- Identificação e associação dos pontos referentes à barragem e ao núcleo com o curso d'água ou o ponto de maior fluxo acumulado mais próximo, estabelecendo desse modo uma conectividade na rede de drenagem;
- Medida da distância percorrida, com base no caminho de fluxo, entre os pontos;
- Identificação da distância percorrida até o núcleo populacional mais próximo.

Pela incompatibilidade entre a escala de trabalho deste estudo e a escala dos mapeamentos de localidades com concentração populacional (superiores à 1:50.000) disponíveis, o que representa uma fragilidade quantitativa e qualitativa das bases de dados espaciais, optou-se pelo mapeamento por interpretação visual de imagens de satélite de alta resolução espacial. Foi utilizado nesse processo, limitado às áreas mapeadas do roteamento de fluxo abaixo (*downslope*) de cada barragem, o acervo de imagens *DigitalGlobe* para Minas Gerais disponíveis através do *software* GoogleEarth.

A Figura 15 representa a identificação de conexão entre barragens e núcleos populacionais à jusante.

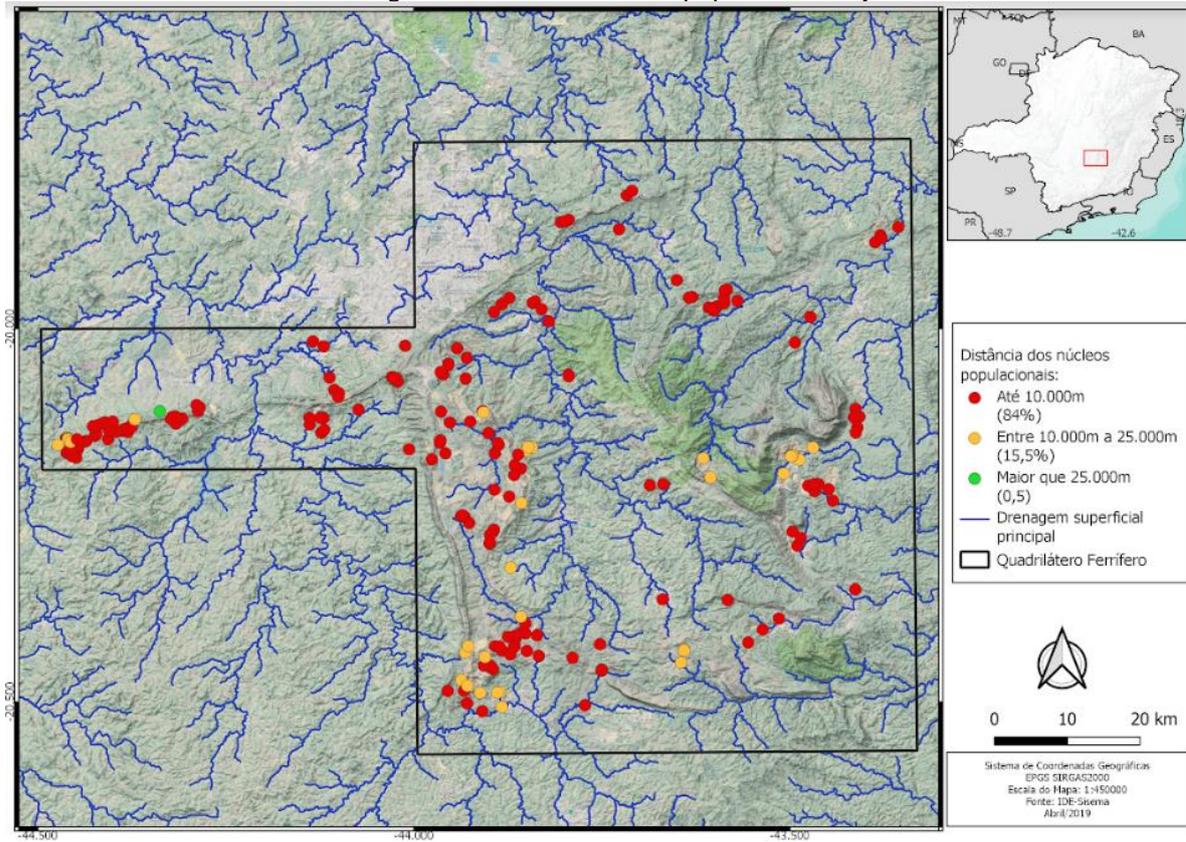
Figura 15. Representação variável comunidade à jusante



Fonte: O autor

A Figura 16 apresenta o *layer* da variável. No QF 84% está localizada em até 10 km da distância de núcleos populacionais, situação proibida pela Política Estadual de Barragens, Lei 21931 aprovada em fevereiro de 2019.

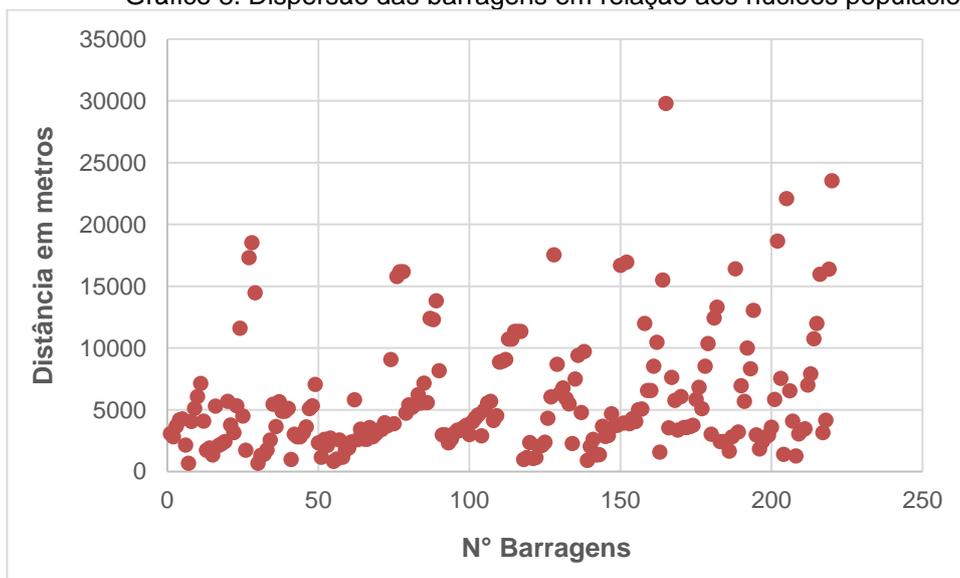
Figura 16. Variável núcleo populacional à jusante



Fonte: O Autor

O Gráfico 8 apresenta a dispersão das barragens em relação aos núcleos populacionais do QF.

Gráfico 8. Dispersão das barragens em relação aos núcleos populacionais



Fonte: O Autor

#### 5.3.1.4. Distância a reservatório à jusante

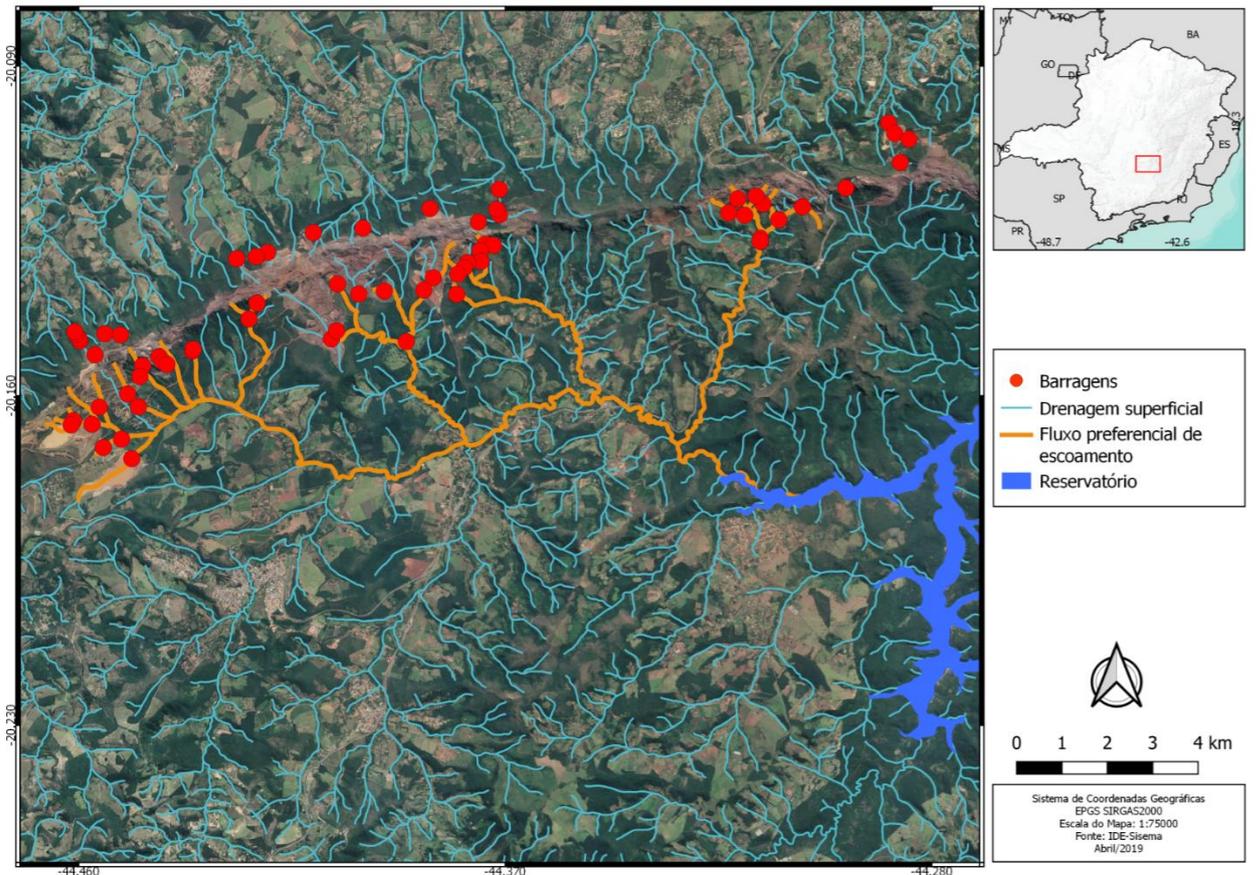
Este critério procura identificar há ocorrência de conexão direta de drenagem superficial entre uma barragem de contenção de rejeitos e resíduos e um represamento artificial de água com a finalidade de aproveitamento hidroelétrico e abastecimento.

As etapas metodológicas para execução deste processo de identificação foram semelhantes ao método de obtenção da variável “Distância ao núcleo populacional mais próximo”, ou seja:

- Mapeamento individual do roteamento de fluxo abaixo (*downslope*) de cada barragem;
- Análise de interseção espacial, quando é identificada a existência de represas com conexão direta de drenagem superficial com a barragem;
- Identificação e associação dos pontos referentes à barragem e da represa com o curso d'água ou o ponto de maior fluxo acumulado mais próximo, estabelecendo desse modo uma conectividade na rede de drenagem;
- Medida da distância percorrida, com base no caminho de fluxo, entre os pontos;
- Identificação da distância percorrida até o núcleo populacional mais próximo.

A Figura 17 exemplifica a ocorrência da situação no município de Itatiaiuçu, com barragens localizadas à montante do Reservatório do Rio Manso, responsável por boa parte do abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

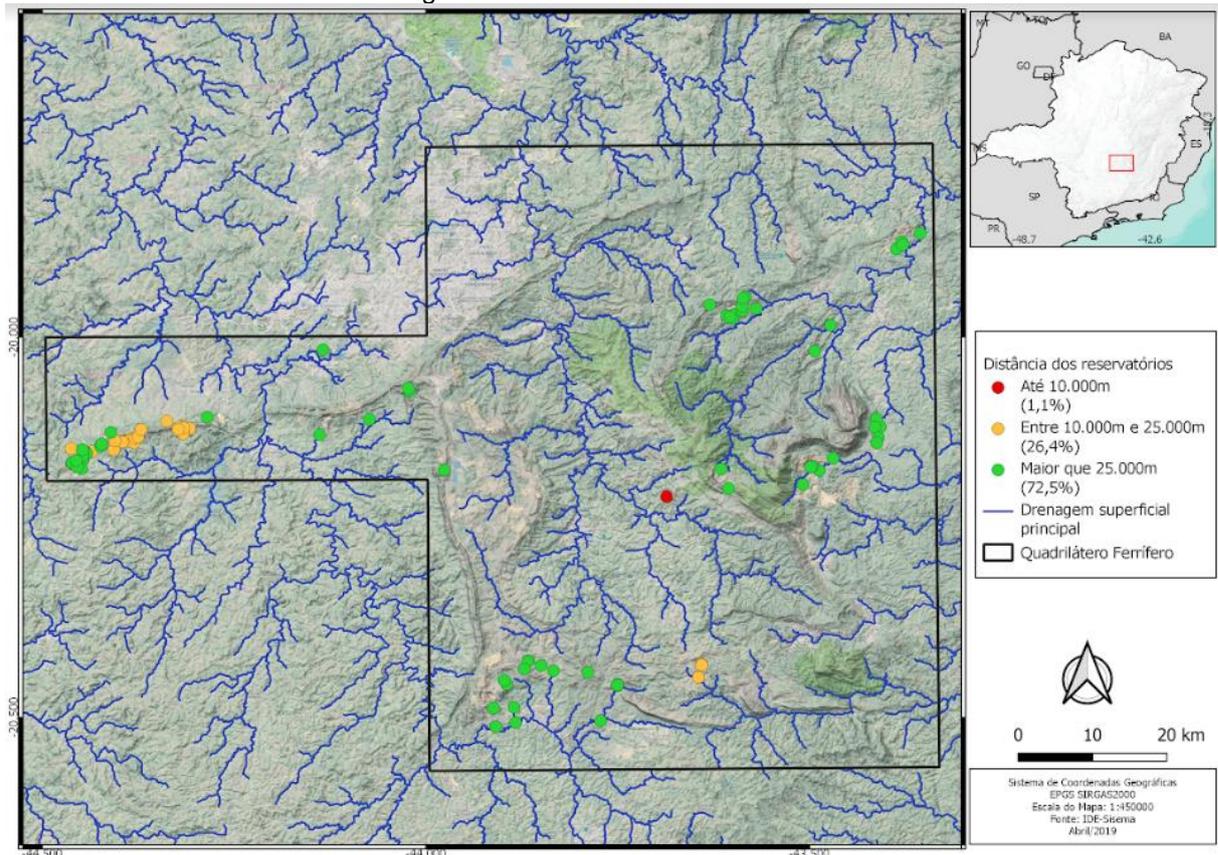
Figura 17. Representação represa à jusante



Fonte: O autor

A Figura 18 apresenta o *layer* da variável. Nesta variável verificou-se que 59% das barragens não possuem reservatório à jusante. Dos 41% que possuem, cerca de 26% está em até 10 e 25 km de distância.

Figura 18. Variável distância de reservatórios



Fonte: O autor

### 5.3.2. Variáveis cadastrais

#### 5.3.2.1. Classe

A Deliberação Normativa nº 62 de 17 de setembro de 2002 determina critérios para definição do porte da barragem classificando-os em pequeno, médio e grande. Define também, 5 parâmetros que são considerados para classificação de uma barragem, quais sejam:

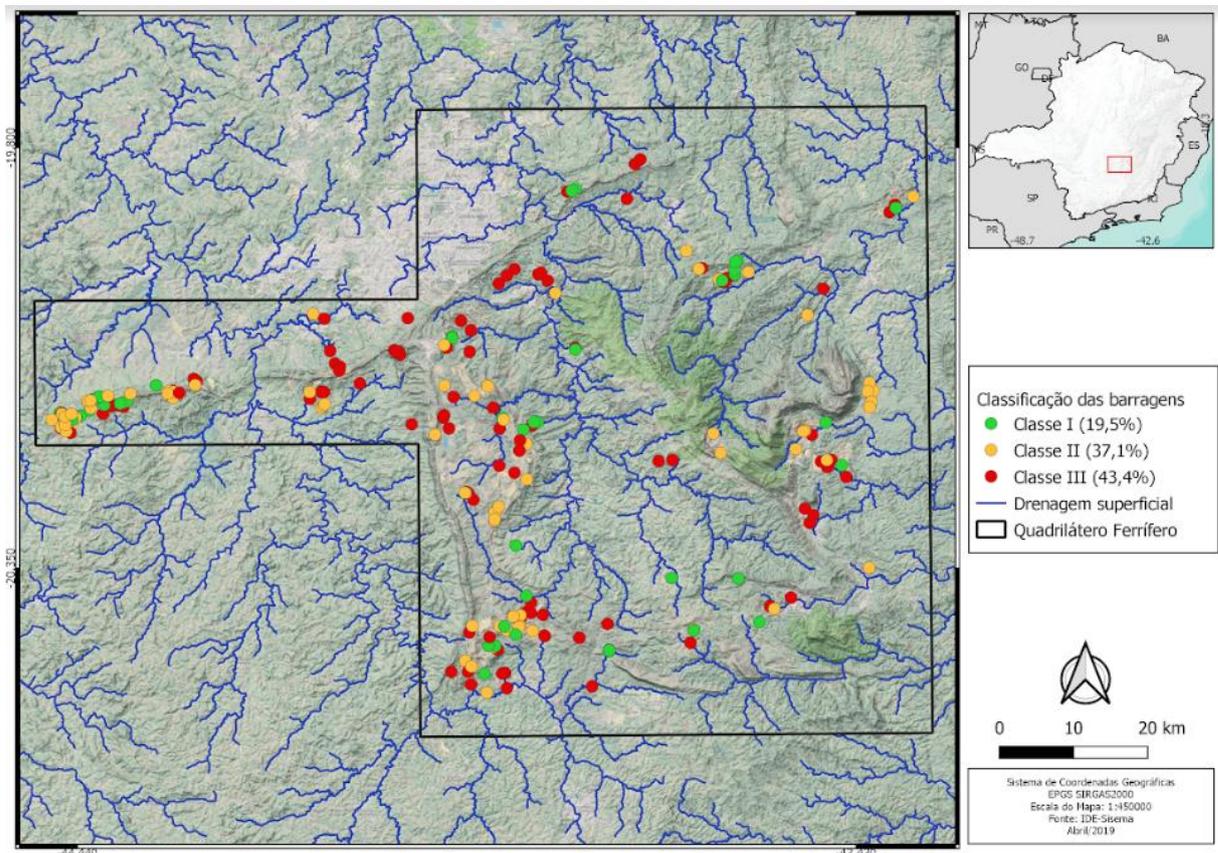
- Altura do maciço;
- Volume do reservatório;
- Ocupação humana à jusante da barragem;
- Interesse ambiental na área à jusante da barragem;
- Instalações na área à jusante da barragem

Dessa forma, as barragens são classificadas em três classes, conforme já apresentado no Quadro 4, considerando o somatório dos valores atribuído a cada parâmetro de classificação mencionado acima, sendo assim enquadradas:

- Baixo potencial de dano ambiental – Classe I: quando o somatório dos valores dos parâmetros for menor ou igual a 2.
- Médio potencial de dano ambiental – Classe II: quando o somatório dos valores dos parâmetros for maior que 2 e menor ou igual a 5.
- Alto potencial de dano ambiental – Classe III: quando o somatório dos valores dos parâmetros for maior que 5.

A Figura 19 apresenta o *layer* referente à classe das barragens. No QF 43% das barragens são classe III, 37% classe II e 20% classe I.

Figura 19. Variável classe



Fonte: O autor

### 5.3.2.2. Situação de estabilidade

A Deliberação Normativa COPAM nº 87 de 17 de junho de 2005 estabelece que todas as barragens devem realizar Auditoria Técnica de Segurança, conforme disposto no Art. 5,<sup>o</sup> de acordo com periodicidade que varia em função da classificação da barragem, sendo:

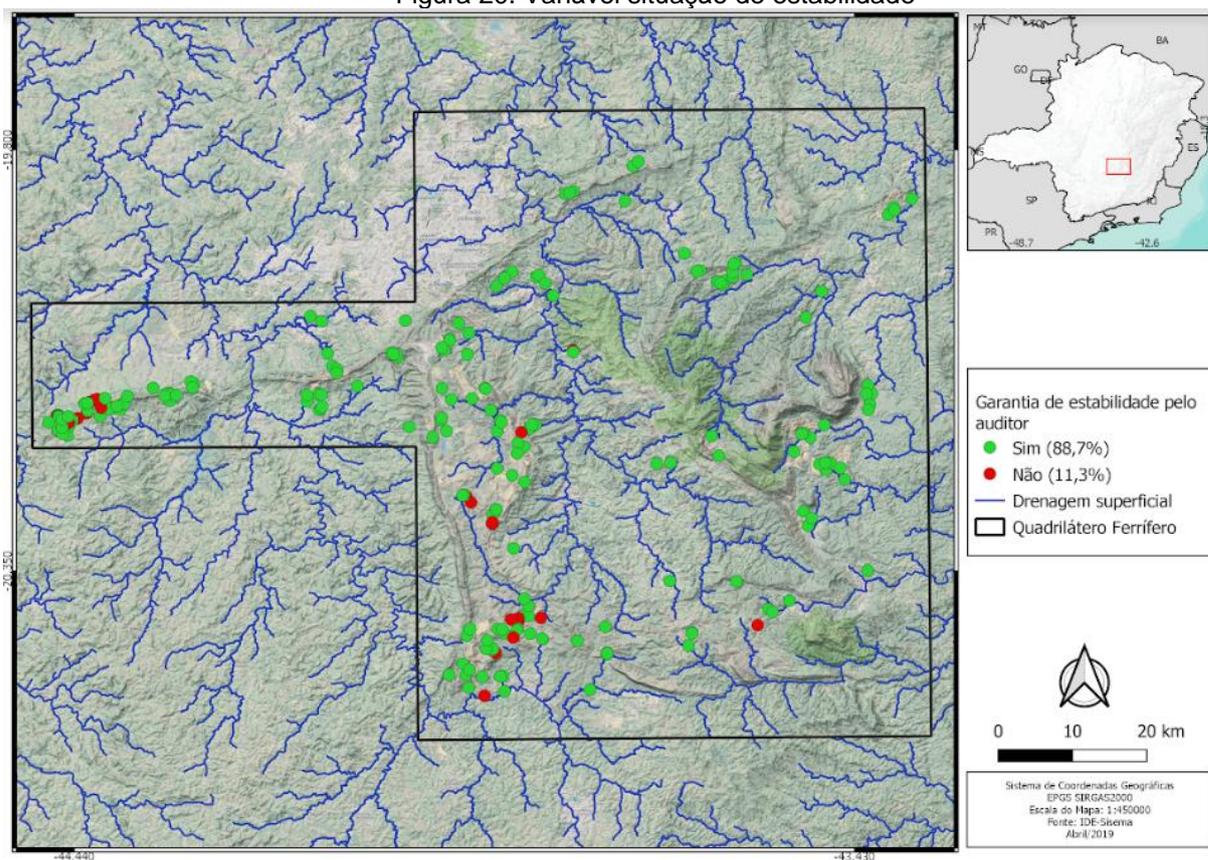
- Auditoria a cada 1 ano para Barragens de Classe III;
- Auditoria a cada 2 anos para Barragens de Classe II;
- Auditoria a cada 3 anos para Barragens de Classe I.

Estabelece também que as Auditorias Técnicas de Segurança devem ser independentes, ou seja, devem ser feitas por profissionais externos (que devem ser especialistas em segurança de barragens) ao quadro de funcionários da empresa para, teoricamente, garantir clareza e evitar conflito de interesses.

Ao final de cada auditoria, o auditor responsável deve elaborar um Relatório de Auditoria Técnica de Segurança de Barragem contendo no mínimo o laudo técnico sobre a segurança da estrutura, as recomendações para melhorar a segurança da barragem, nome completo do auditor com a respectiva titularidade e Anotação de Responsabilidade Técnica (ART). Uma cópia do relatório de auditoria deve ser apresentada à FEAM com assinatura do auditor responsável acompanhada da respectiva ART.

A Figura 20 apresenta o *layer* da variável. No QF 196 das 220 está no grupo estabilidade garantida, conforme Gráfico 9.

Figura 20. Variável situação de estabilidade



Fonte: O autor

Gráfico 9. Condição de estabilidade das barragens no QF



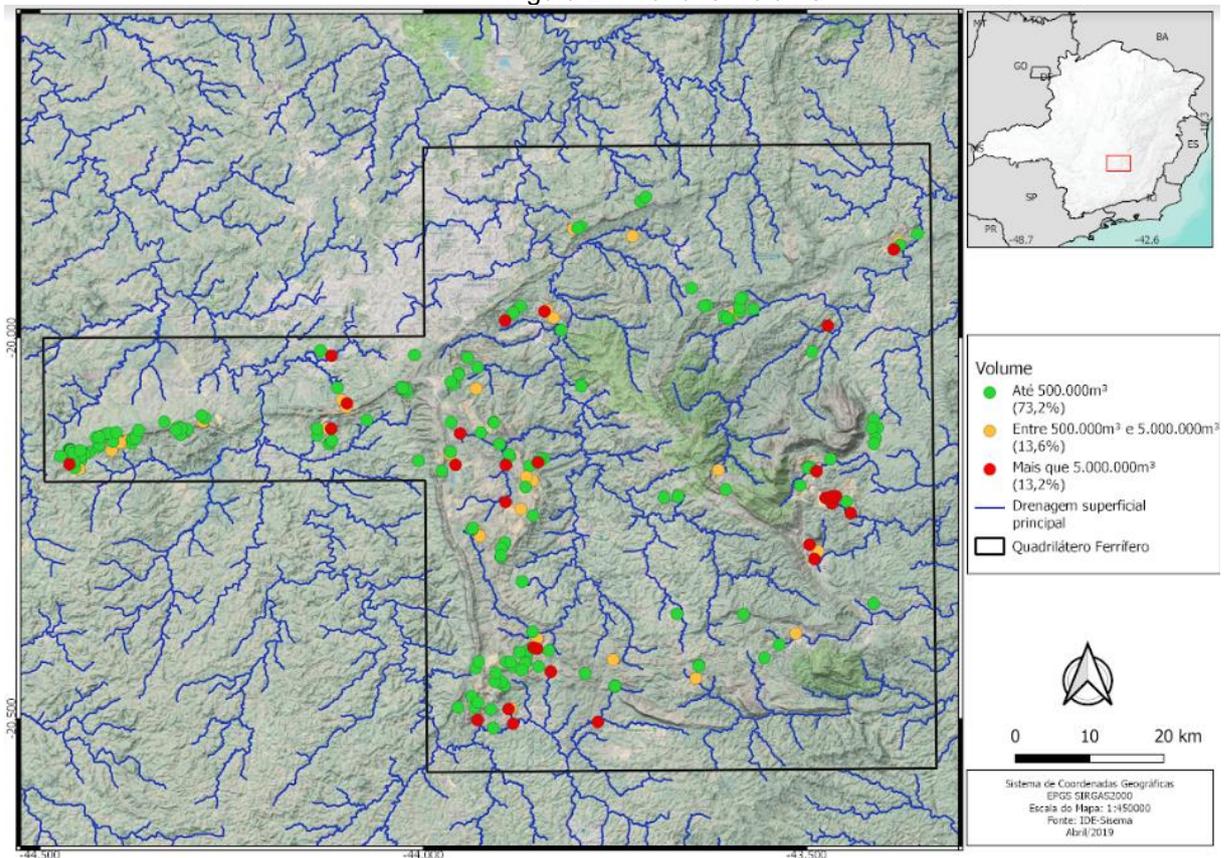
Fonte: O autor

### 5.3.2.3. Volume

O volume das barragens consta da lista de barragens cadastradas na FEAM divulgado anualmente pela instituição. No documento é possível obter a informação em metros cúbicos de cada estrutura. A escolha pelo volume como uma variável específica se deu pelo fato da relação diretamente proporcional entre o volume e o impacto socioambiental na eventualidade de um rompimento.

A Figura 21 apresenta o *layer* da variável. No QF o maior número (73,2%) de barragens está na faixa até 500.000 m<sup>3</sup>.

Figura 21. Variável volume



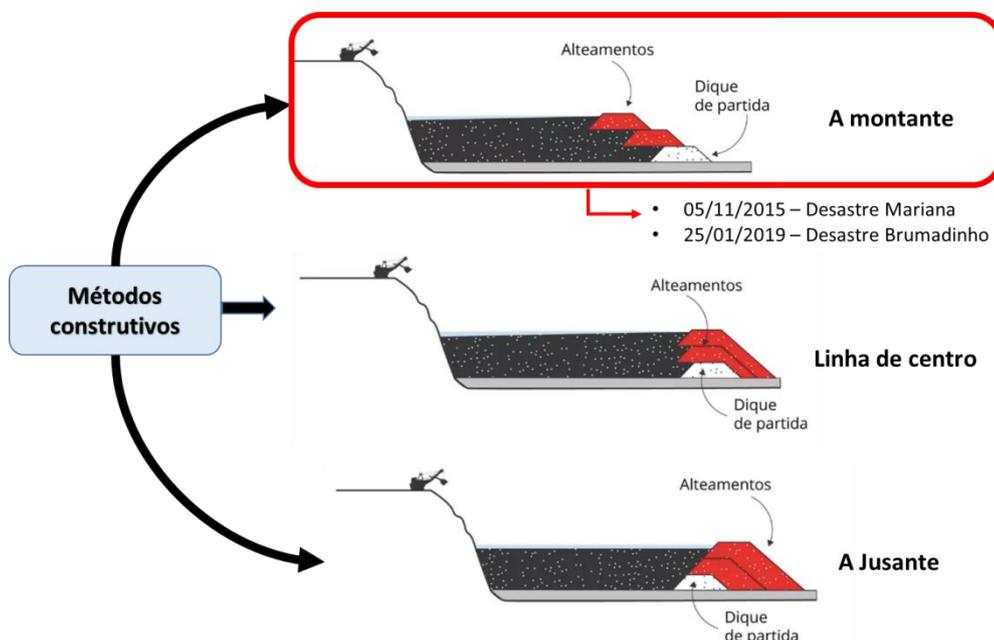
Fonte: O autor

#### 5.3.2.4. Método construtivo

A disposição dos rejeitos oriundos da atividade minerária mais comum é a céu aberto, e pode ser feita em pilhas controladas ou em estruturas de contenção localizadas em bacias ou vales (barragens). Em relação a essa modalidade, segundo Vick (1983), a estrutura de contenção é construída levantando-se inicialmente um dique de partida com solo de empréstimo, o qual deve ter uma capacidade de retenção de rejeitos para dois ou três anos de operações da lavra. Os estágios posteriores (alteamentos) podem ser construídos também com material de empréstimo, com estéreis, por deposição hidráulica de rejeitos ou por ciclonagem dos mesmos rejeitos.

Os alteamentos podem assumir diferentes configurações, cada uma com suas características, especificações, vantagens e desvantagens. Os métodos de alteamento são geralmente classificados em três tipos: método de montante, método da jusante e método da linha de centro. Os nomes referem-se à direção em que os alteamentos são feitos em relação ao dique inicial.

Figura 22. Tipos de métodos construtivos de alteamento de barragens



Fonte: Semad, 2018

As vantagens e desvantagens dos métodos construtivos para alteamentos de barragens foi avaliado por Soares (2004), sendo que o método à montante apresenta a maior criticidade no que se refere aos aspectos relacionados à segurança da estrutura.

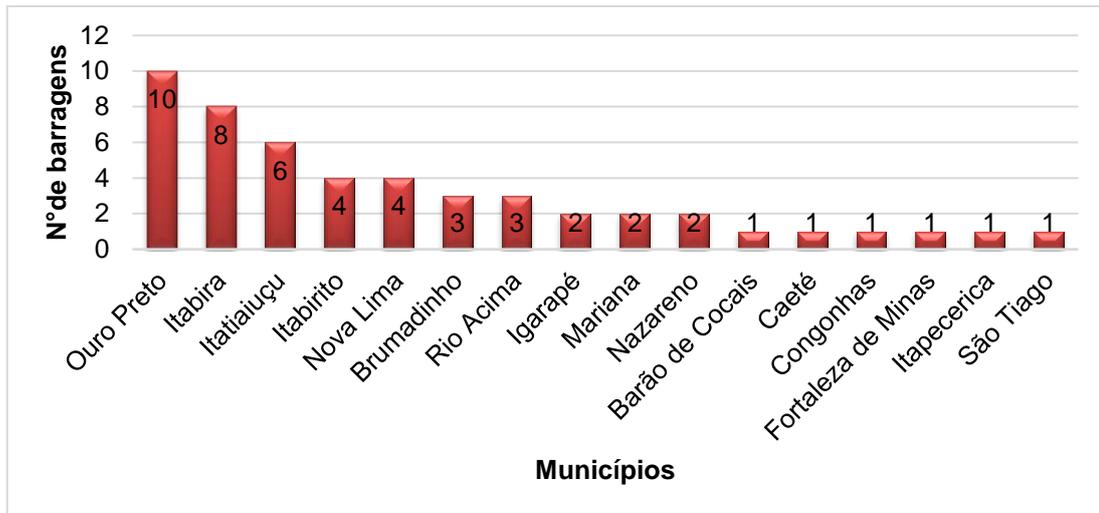
Quadro 13. Vantagens e desvantagens dos três tipos de barragens de rejeitos

	<b>Método de montante</b>	<b>Método de jusante</b>	<b>Método da linha de centro</b>
<b>Método</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Método mais antigo, e o mais empregado.</li> <li>-Construção de dique inicial e os diques do alteamento periféricos com material de empréstimo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construção de dique inicial impermeável e barragem de pé.</li> <li>-Dreno interno e impermeabilização a montante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variação do método de jusante.</li> </ul>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor custo.</li> <li>- Maior velocidade de alteamento.</li> <li>- Utilizado em lugares onde há limitação de área.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior segurança.</li> <li>- Compactação de todo o corpo da barragem.</li> <li>- Pode-se misturar os estéreis da Lavras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variação do volume de “<i>underflow</i>” necessário com relação ao método da jusante.</li> </ul>
<b>Desvantag</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Baixa segurança devido à linha freática próxima ao talude de jusante, susceptibilidade de liquefação, possibilidade de “<i>piping</i>”.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Necessidade de grandes quantidades de material e área.</li> <li>- Deslocamento do talude de jusante (proteção superficial só no final da construção).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessidade de sistemas de drenagem eficientes e sistemas de contenção à jusante</li> </ul>

Fonte: Soares 2004, modificado

Conforme o BDA da FEAM, em Minas Gerais existem 49 barragens com estrutura à montante, sendo 35 delas na área do QF.

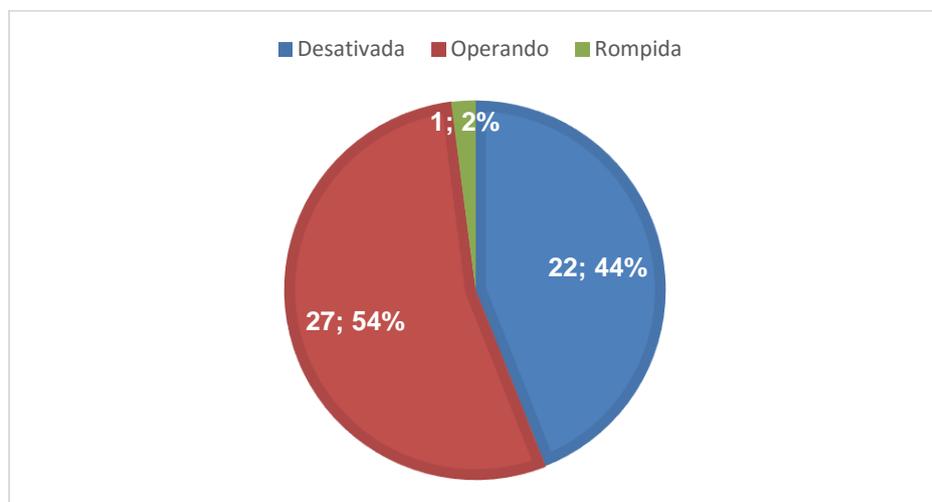
Gráfico 10. Barragens à montante x municípios



Fonte: O autor

Em relação a situação atual das barragens, cerca 54% estão operando e 44% estão paralisadas.

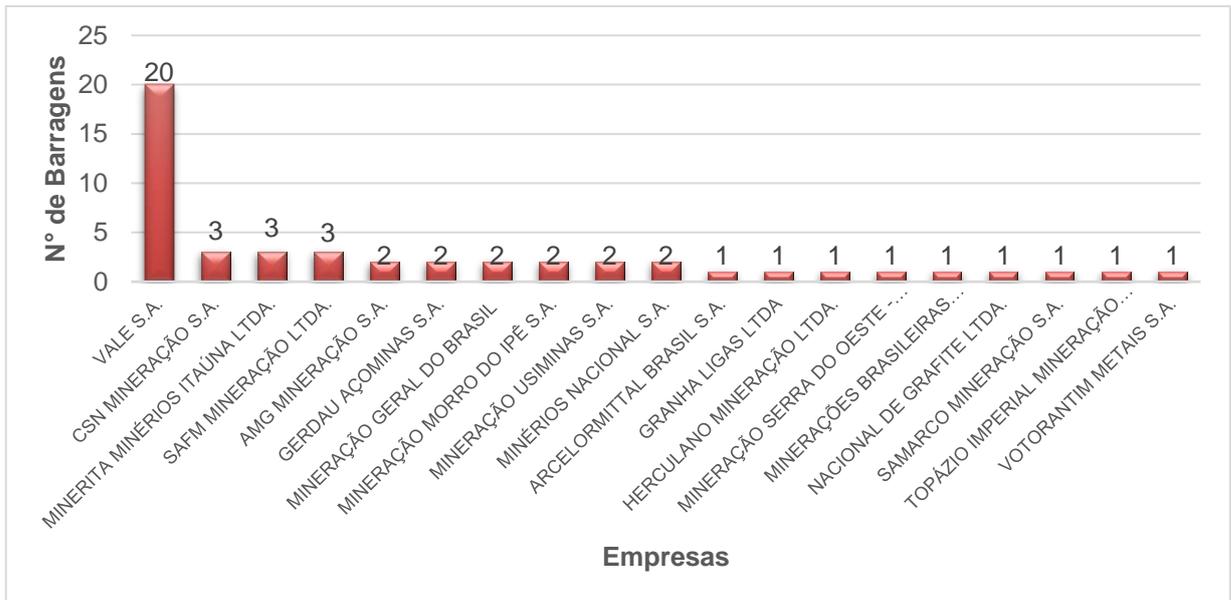
Gráfico 11. Situação das barragens à montante em MG



Fonte: O autor

A empresa com maior número de barragens à montante em Minas Gerais é a Vale S.A, com de 40% do total.

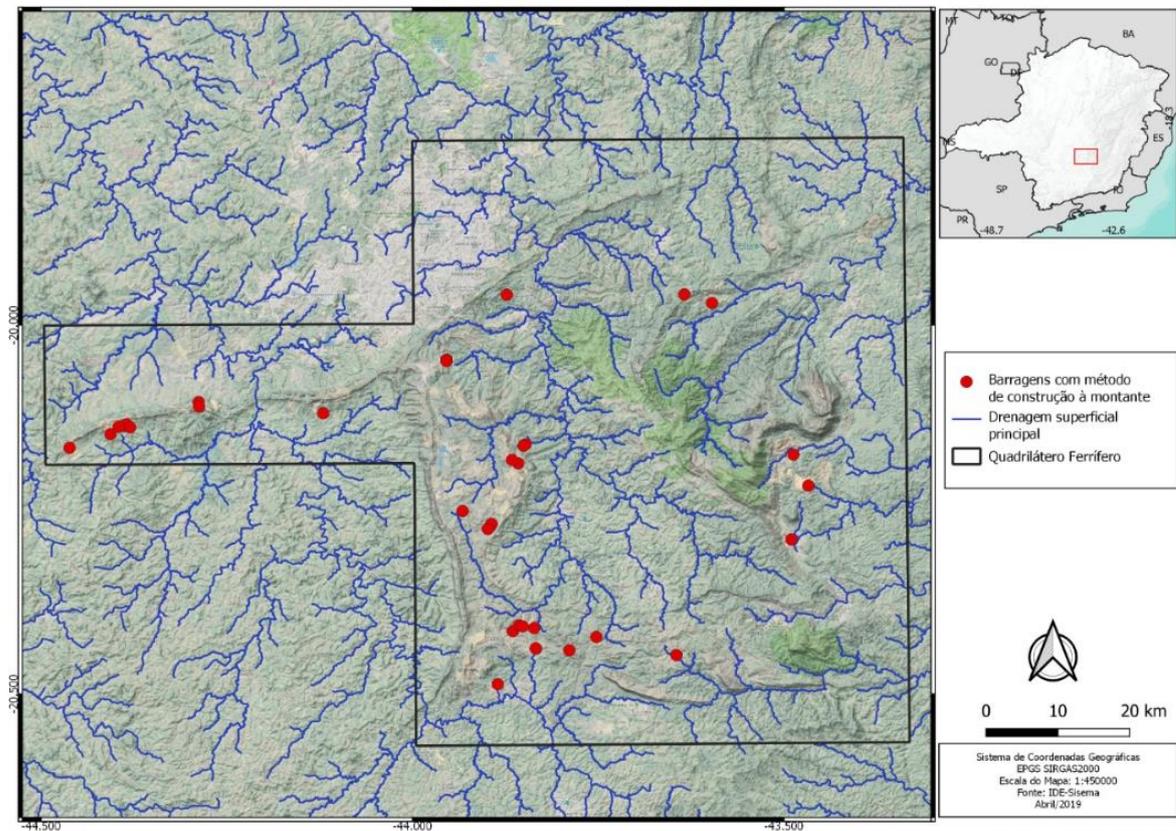
Gráfico 12. Empresas que detêm barragens a montante em MG



Fonte: O autor

A Figura apresenta o *Layer* das alteadas pelo método montante.

Figura 23. Variável barragens montante no QF



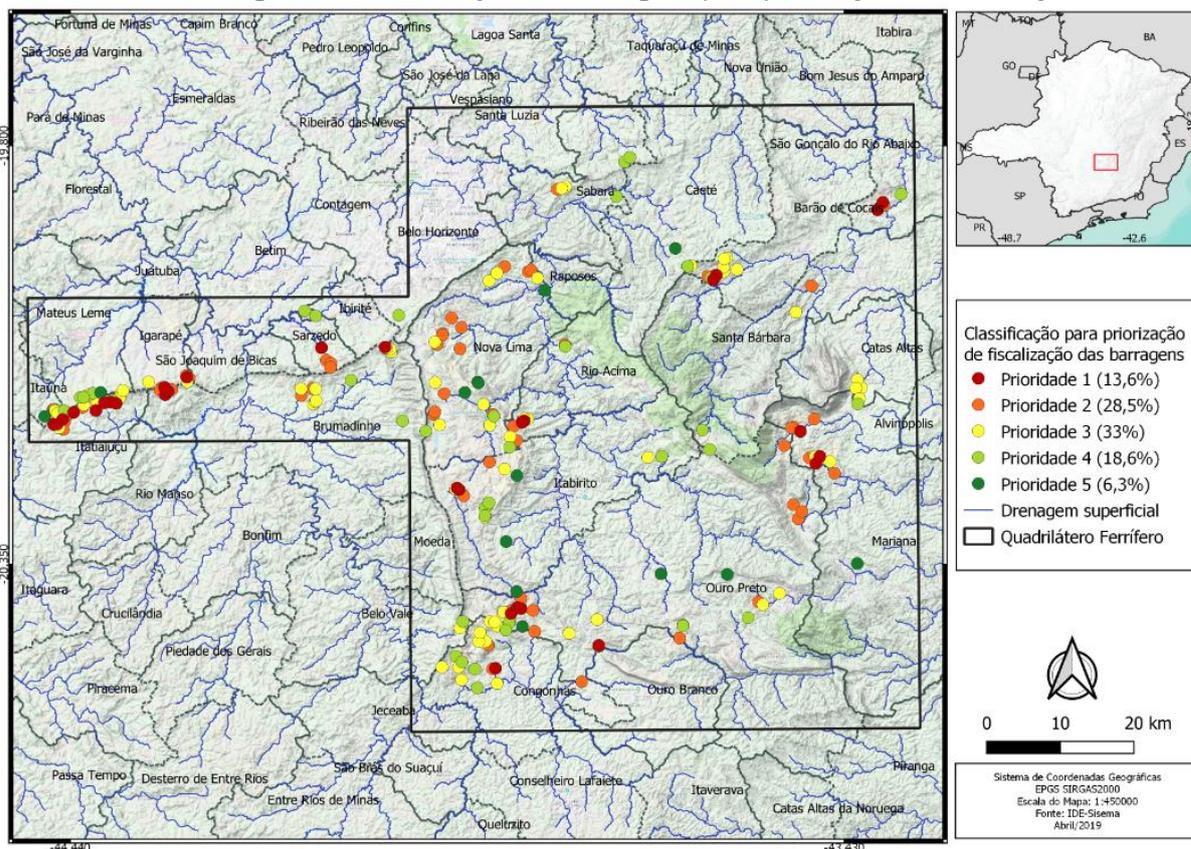
Fonte: O autor

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da metodologia proposta e aplicação dos cálculos foram gerados os *scores* resultantes e a classificação das barragens em ordem de prioridade. Os valores mais altos indicam aquelas estruturas nas quais o tomador de decisões deve priorizar suas ações de monitoramento e fiscalização. Essas mesmas estruturas também podem ser de referência para elaboração de normas gerais e específicas para aplicação dos instrumentos da política ambiental, a exemplo do licenciamento ambiental.

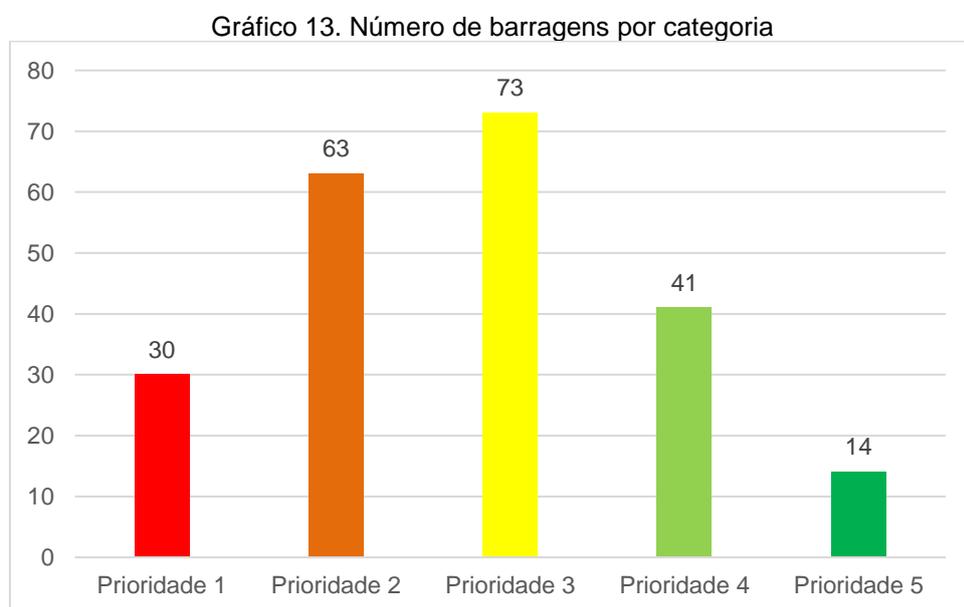
Conforme proposta metodológica, os valores de cada variável foram somados para geração do *score* final, a classificação utilizou a lógica de divisão por quebras naturais (*jenks*). A Figura 24 traz o resultado final.

Figura 24. Classificação das barragens para priorização da fiscalização



Fonte: O autor

A maior parte das barragens localizadas no QF foi enquadrada na Prioridade 3, seguida da prioridade 2, prioridade 4 e prioridade 1, respectivamente. O Gráfico 13 apresenta o quantitativo de barragens por categoria.



Fonte: O autor

A categoria Prioridade 1 abarca 30 estruturas consideradas de maior impacto socioambiental e para as quais recomenda-se que o poder público dedique recursos financeiros, logísticos e humanos para fins da fiscalização rotineira. Também se recomenda que as características físicas e espaciais dessas barragens possam servir de parâmetros para elaboração de normas ambientais, em especial no tocante ao licenciamento ambiental.

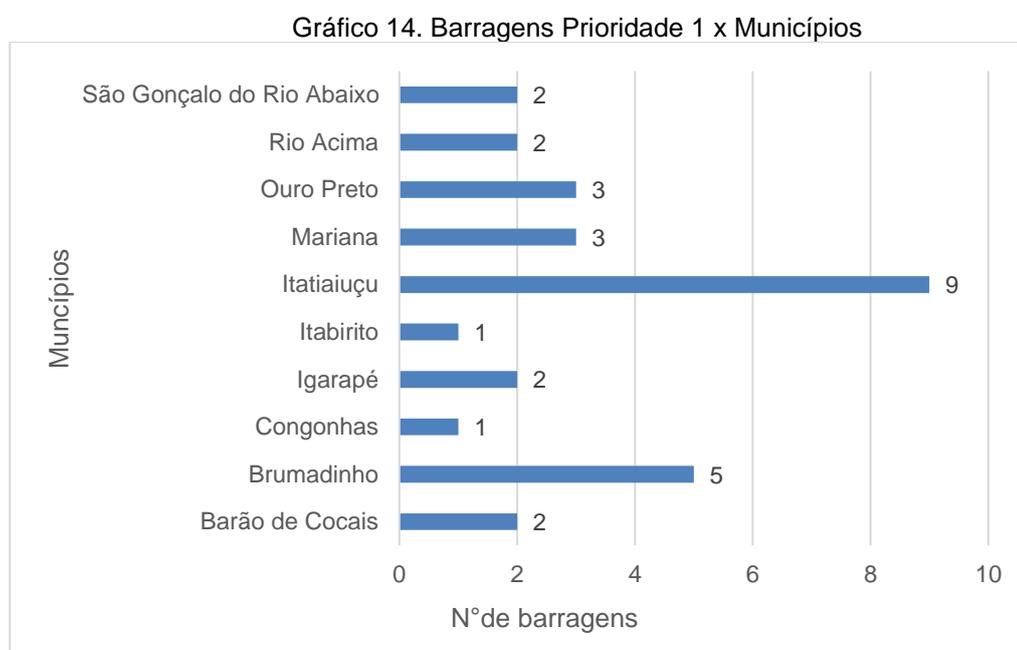
Dentre as 30 barragens elencadas na Prioridade 1, estão as 3 barragens últimas barragens que se romperam em Minas Gerais: a barragem B1 da mineração Herculano, a Barragem 1 da Vale S/A e a Barragem de Fundão, da Samarco Mineração. Cabe destacar que as 3 estruturas, quando dos seus rompimentos, apresentavam estabilidade garantida pelo auditor e, portanto, não integravam o rol de prioridades do órgão ambiental estadual. O Quadro 14 abaixo apresenta as 30 estruturas que compõem a categoria prioridade 1.

Quadro 14. Estruturas classificadas como Prioridade 1

<b>Estrutura</b>	<b>Empresa</b>	<b>Município</b>	<b>Score</b>
<b>BARRAGEM DE REJEITOS B1</b>	HERCULANO MINERACAO LTDA	Itabirito	0,749005744
<b>BARRAGEM OESTE</b>	MINERAÇÃO USIMINAS S/A	Itatiaiuçu	0,747125356
<b>GRUPO</b>	COMPANHIA VALE	Ouro Preto	0,745707978
<b>BARRAGEM 3</b>	MINERITA MINERIOS	Itatiaiuçu	0,742682637
<b>BARRAGEM 1</b>	MINERITA MINERIOS	Itatiaiuçu	0,739628722
<b>SUL SUPERIOR</b>	COMPANHIA VALE	Barão de Cocais	0,721944818
<b>BARRAGEM DO GERMANO</b>	SAMARCO MINERACAO SA	Mariana	0,720559764
<b>CÓRREGO DO CANAL (SUL)</b>	COMPANHIA VALE	S.G do Rio Abaixo	0,687261587
<b>BARRAGEM QUÉIAS</b>	MMX	Brumadinho	0,685592495
<b>FORQUILHA I</b>	COMPANHIA VALE	Ouro Preto	0,659011248
<b>FORQUILHA II</b>	COMPANHIA VALE	Ouro Preto	0,65281509
<b>DIQUE DA MINEIRA</b>	MINERAÇÃO USIMINAS S/A	Itatiaiuçu	0,644226837
<b>DIQUE INTERMEDIÁRIO</b>	MINERAÇÃO USIMINAS S/A	Itatiaiuçu	0,641328522
<b>DIQUE DO ASFALTO</b>	MINERAÇÃO USIMINAS S/A	Itatiaiuçu	0,638989719
<b>BARRAGEM I</b>	COMPANHIA VALE	Brumadinho	0,633379908
<b>BARRAGEM B2</b>	MMX	Igarapé	0,623600248
<b>BARRAGEM B1-A</b>	MMX	Brumadinho	0,622727341
<b>BARRAGEM B1 AUXILIAR</b>	MMX	Igarapé	0,622062197
<b>BARRAGEM B4</b>	CSN	Congonhas	0,621117471
<b>DIQUE B4</b>	MMX	Brumadinho	0,619269354
<b>BARRAGEM 2 - CANINDÉ</b>	MINERITA MINERIOS	Itatiaiuçu	0,618855135
<b>BARRAGEM B1</b>	MMX	Brumadinho	0,618564267
<b>BARRAGEM CENTRAL</b>	MINERAÇÃO USIMINAS S/A	Itatiaiuçu	0,618471456
<b>BARRAGEM DE REJEITOS</b>	COMPANHIA VALE	Itatiaiuçu	0,61630988
<b>DIQUE DA ESTRADA DE SÃO GONÇALO</b>	COMPANHIA VALE	S.G do Rio Abaixo	0,598639338
<b>BARRAGEM CAMPO GRANDE</b>	COMPANHIA VALE	Mariana	0,593599051

<b>BARRAGEM AUXILIAR B2</b>	NACIONAL MINERIOS S/A	Rio Acima	0,593197144
<b>SUL INFERIOR</b>	COMPANHIA VALE	Barão de Cocais	0,59306348
<b>BARRAGEM B2</b>	NACIONAL MINERIOS S/A	Rio Acima	0,587894654
<b>BARAGEM DO FUNDÃO</b>	SAMARCO MINERACAO SA	Mariana	0,568604537

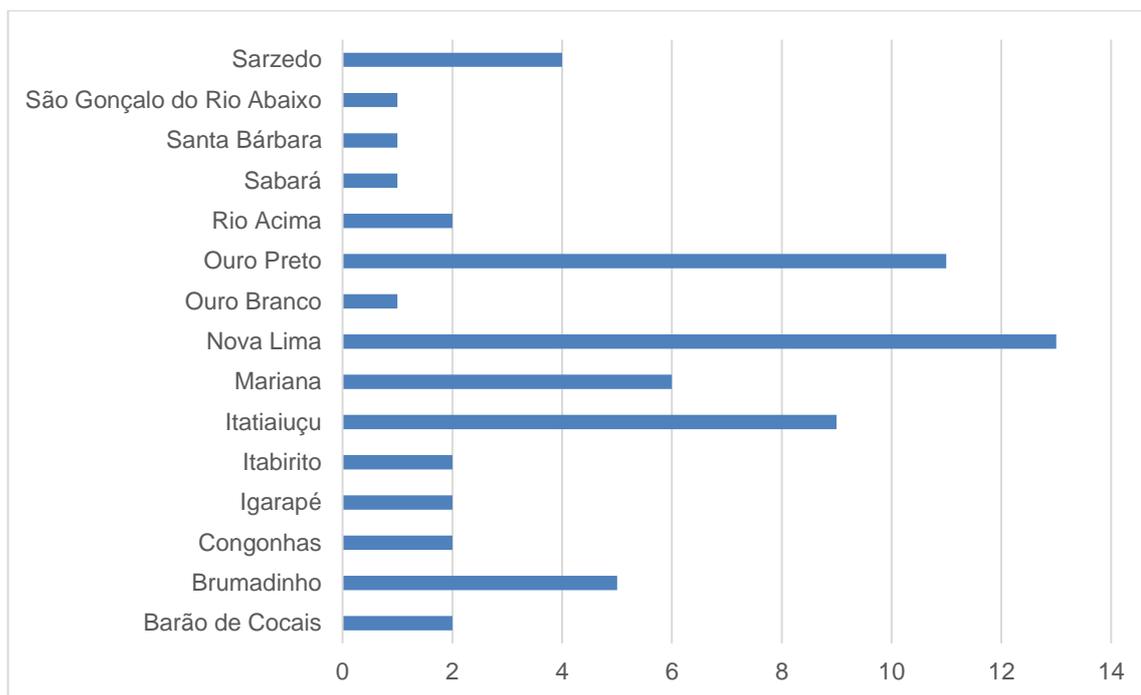
O município com maior número de barragens na categoria Prioridade 1 é Itatiaiuçu (9), seguido de Brumadinho (5) e Ouro Preto e Mariana (3), conforme apresentado no Gráfico 12 abaixo.



Fonte: O autor

A categoria prioridade 2 contém 63 barragens, sendo os municípios de Nova Lima (13) e Ouro Preto (11) os que possuem o maior número de barragens nesta categoria, conforme demonstrado no Gráfico 13.

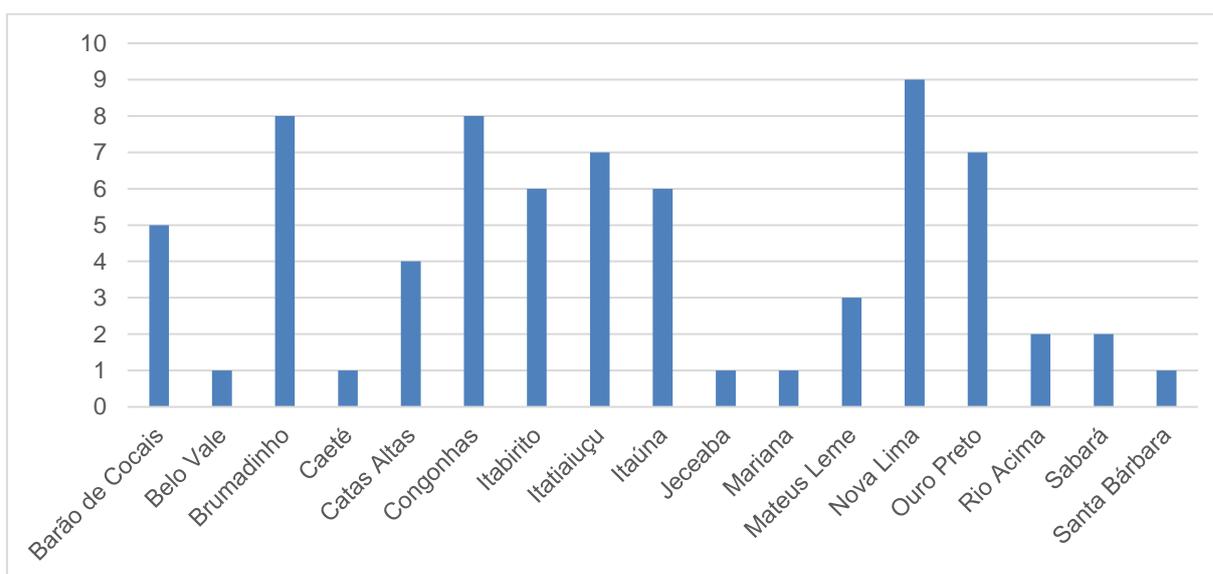
Gráfico 15. Barragens Prioridade 2 x municípios



Fonte: O autor

A categoria prioridade 3 contém 73 barragens, sendo os municípios de Nova Lima (9) e Congonhas e Brumadinho (8) os que possuem o maior número de barragens nesta categoria, conforme demonstrado no Gráfico 14.

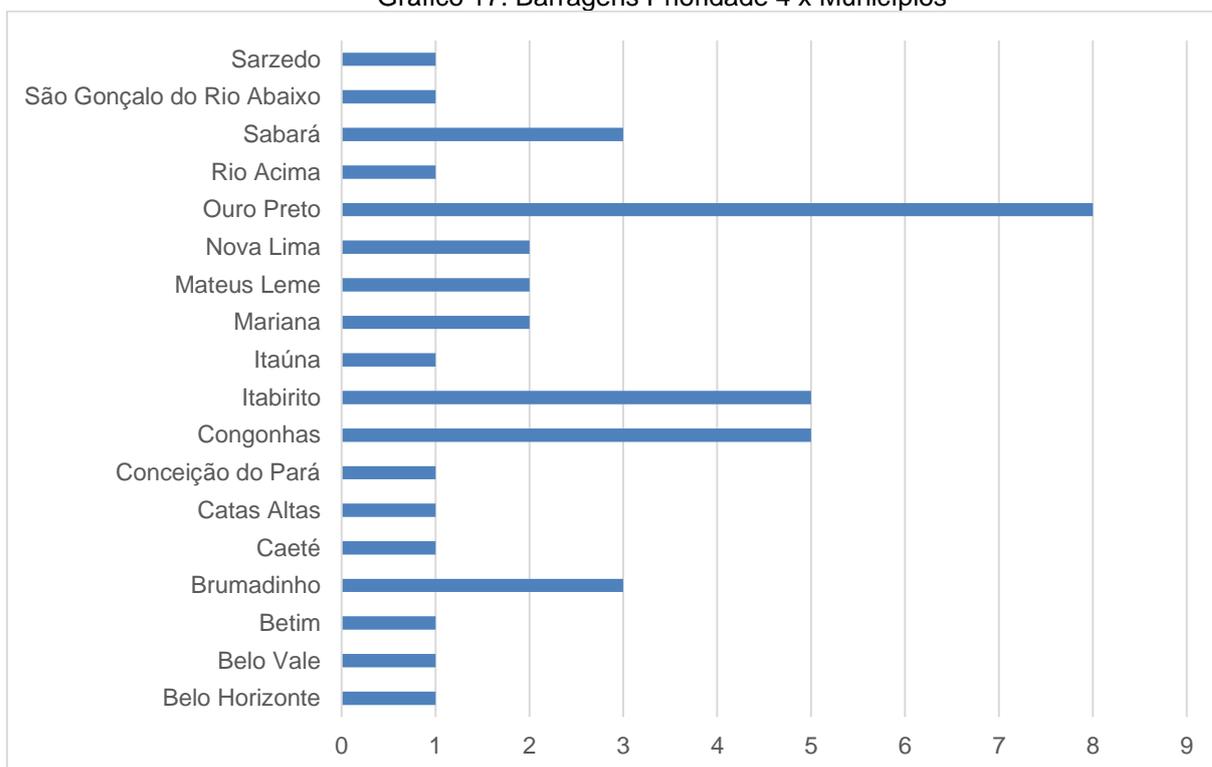
Gráfico 16. Barragens Prioridade 3 x Municípios



Fonte: O Autor

A categoria prioridade 4 contém 41 barragens, sendo os municípios de Ouro Preto (8) e Congonhas e Itabirito (5) os que possuem o maior número de barragens nesta categoria, conforme Gráfico 15.

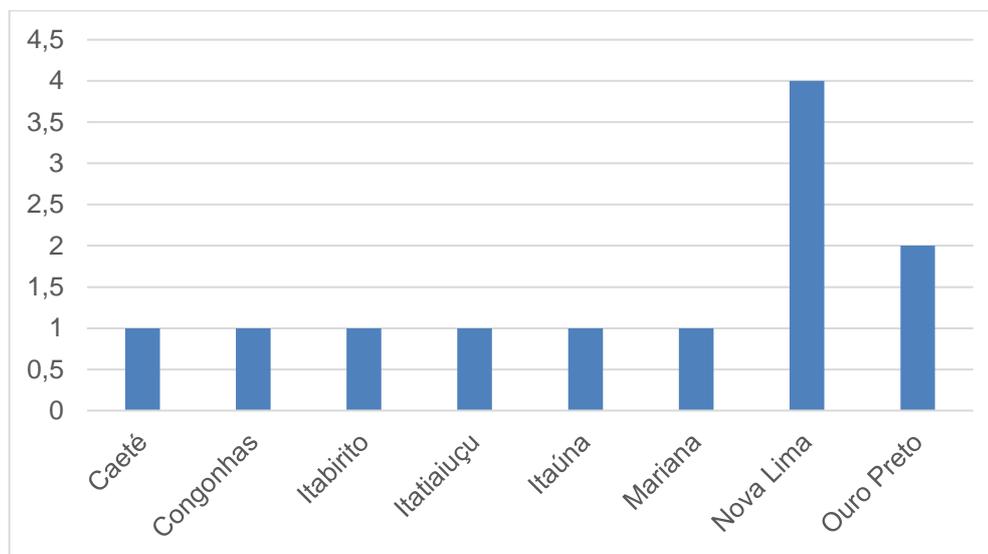
Gráfico 17. Barragens Prioridade 4 x Municípios



Fonte: O Autor

A categoria prioridade 5 contém 14 barragens, sendo os municípios de Nova Lima (4) e Ouro Preto (2) os que possuem o maior número de barragens nesta categoria, conforme Gráfico 18.

Gráfico 18. Barragens Prioridade 5 x Municípios



Fonte: O autor

Como forma indireta de avaliar a proposta metodológica, foi realizada avaliação em relação a casos práticos. Conforme mencionado anteriormente, as barragens que romperam entre 2014 e 2019 (os últimos 3 desastres em Minas Gerais), após a aplicação da metodologia, foram enquadradas na categoria prioridade 1. Tal avaliação foi possível porque as estruturas constam da lista de barragens da FEAM utilizadas para este trabalho.

Outra forma de avaliar a assertividade da proposta, foram as recentes ações civis públicas impetradas pelo Ministério Público Estadual de Minas Gerais com vistas a interdição de barragens, que podem servir de termômetro para verificação e calibração da metodologia. Ações civis públicas do MPE (MPE, 2019) apresentadas em 2019 determinam ações emergenciais para ações de reforço da estrutura, conforme Quadro 15 abaixo.

Quadro 15. Score final barragens x ações do Ministério Público

<b>Estrutura</b>	<b>Classe de Prioridade</b>	<b>Município</b>
<b>Barragens Menezes II</b>	2	Brumadinho
<b>Barragens Taquaras</b>	2	Nova Lima
<b>Barragem Forquilha I</b>	1	Ouro Preto
<b>Barragem Forquilha II</b>	1	Ouro Preto

<b>Barragem Forquilha III</b>	2	Ouro Preto
<b>Sul Superior</b>	1	Barão de Cocais
<b>Barragem B3</b>	2	Nova Lima
<b>Barragem B4</b>	2	Nova Lima
<b>Barragem Doutor</b>	2	Ouro Preto
<b>Barragem Timbopeba</b>	2	Ouro Preto
<b>Barragem Grupo</b>	1	Congonhas

Fonte: MPMG, 2019

As Figuras 28, 29, 30 e 31 exemplificam barragens consideradas pela metodologia na categoria prioridade 1.

Figura 25. Barragem auxiliar B1 em Igarapé - 18ª prioridade



Fonte: semad, 2017

Figura 26. Barragem do Quéias em Brumadinho 9ª prioridade



Fonte: Semad, 2017

Figura 27. Barragem Oeste em Itatiaiuçu 2ª prioridade



Fonte: Semad, 2017

Figura 28. Barragem 3 em Itatiaiuçu 4ª prioridade



Fonte: Semad, 2017

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após mais um desastre (Vale, 2019) envolvendo barragens de rejeito de Mineração, a sociedade brasileira novamente se viu imersa em debates acerca da segurança dessas estruturas e do custo-benefício da atividade minerária face aos seus riscos associados e às potenciais consequências danosas ao meio ambiente e à coletividade como um todo.

Conforme apresentado no capítulo 3, os impactos já apurados (e alguns ainda em apuração, como no caso da Samarco em Mariana e Vale em Brumadinho) de rompimentos de barragem demonstram que os danos socioambientais podem se alastrar por centenas de quilômetros com consequências adversas e de grandes proporções para os mais diversos elementos do ecossistema. Um exemplo negativo de impactos que por podem tomar proporções catastróficas é o caso da cidade de Aznalcollar na Espanha, onde uma avalanche de materiais oriundos da barragem rompida (chumbo, zinco, cobre, cádmio, entre outros) atingiram o Parque Nacional de Doñana, patrimônio histórico da Unesco, e provocou contaminação em cadeia em uma região que é ponto de parada para cerca de 300 espécies de aves raras que migram entre Europa e África.

Em Minas Gerais, como consequência direta dos desastres envolvendo barragens de rejeito, a Assembleia Legislativa do Estado aprovou, no dia 25 de fevereiro de 2019, a Lei 23.291 que institui a Política Estadual de Segurança de Barragem, norma que define novas competências aos órgãos estaduais de meio ambiente. Dentre os princípios trazidos pela nova legislação estão a prevalência da proteção ao meio ambiente e às comunidades potencialmente afetadas pelos empreendimentos e prioridade para as ações de prevenção, fiscalização e monitoramento pelos órgãos e entidades ambientais competentes do Estado. A Lei também estabelece a proibição de concessão de licença ambientais para construção, instalação, ampliação ou alteamento de barragem cujos estudos de cenários de rupturas identifiquem comunidades na zona de autossalvamento, classificada pela lei como, no mínimo, a distância de 10 quilômetros no vale à jusante da drenagem nas barragens.

Neste novo cenário que se impõe, a tomada de decisão por parte dos órgãos público formuladores e executores da política de segurança de barragens torna-se um desafio ainda maior, agravado pela escassez de recursos humanos e financeiros. Outro fator que se soma a este contexto é o intenso e crescente acompanhamento do tema pela sociedade, em especial por órgão de controle, como o Ministério Público, poder judiciário e pela imprensa.

Desta forma, o modelo proposto visa construir uma ferramenta de apoiar os tomadores de decisão para uma gestão mais integrada do território, de maneira que as decisões não se pautem em empreendimentos pontuais e sim na inter-relação entre eles face sua localização e aspectos socioambientais relevantes.

Um ponto que merece destaque no modelo proposto diz respeito à escolha das variáveis. A gestão ambiental do território envolve um número extenso de aspectos físicos, biológicos e humanos, que podem ser avaliados conforme entendimentos e contextos diferenciados. Como referência, na IDE- Sisema, plataforma oficial da administração pública ambiental estadual para gestão de seus dados espaciais, há quase quatrocentas camadas de informação sobre a realidade ambiental de Minas Gerais. Naturalmente, dada a dinâmica dos aspectos socioambientais dos territórios, há possibilidade do surgimento de novas prioridades ou abordagens a serem executadas por órgão ambientais, a exemplo da legislação recentemente aprovada.

Desta forma, o modelo apresenta a vantagem de ser ajustável face cenários diferentes, possibilitando ao tomador de decisão ajustá-lo e calibrá-lo a partir da introdução de novas variáveis. Como exemplo, caso entenda-se conveniente uma avaliação com cunho mais hídrico, além da variável distância de reservatórios, pode-se introduzir como variável *layer* de rios com qualidade da água já impactada e que poderiam ser eventualmente atingidos em caso de rompimento, bem como *layer* dos rios de preservação permanente, nos quais o poder público já estabeleceu sua prioridade para conservação. Em uma abordagem mais florestal, pode-se incluir variáveis como a ocorrência de unidades de conservação que poderiam ser atingidas, áreas de endemismo de flora e fauna, ocorrência de cavernas e etc. Tais camadas hoje já se encontram disponíveis e as técnicas de geoprocessamento permitem os cálculos de distâncias para sua eventual inserção no modelo.

Por fim, como forma de evolução da proposta, entende-se importante testar o modelo com pesos diferenciados para as variáveis já estabelecidas, ação para qual é conveniente a submissão a um conjunto de especialistas no tema. Entende-se igualmente relevante incrementar o conjunto de variáveis, ação para qual considera-se estratégico utilizar variáveis coerentes com os aspectos socioambientais das diferentes regiões de Minas Gerais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Relatório de segurança de barragens 2016**. Brasília: ANA, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES ESTADUAIS DE MEIO AMBIENTE. **Novas propostas para o licenciamento ambiental no Brasil**. Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente; organização José Carlos Carvalho – Brasília: ABEMA, 2013. 92p.

AUSTRALIAN ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Best Practice Environmental Management in Mining. Tailings Containment**. Australian EPA, Canberra. 1995.

ÁVILA, J.P. **Acidentes em barragens de rejeitos no Brasil**. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/wp-content/uploads/2016/07/ACIDENTES-EM-BARRAGENS-JoaquimPimenta-Pimenta-de-%C3%81vila-Engenharia.pdf>> Acesso em: 17 de setembro de 2016.

ÁVILA, J.P. **Barragens de Rejeitos no Brasil**. Comitê Brasileiro de Barragens. Rio de Janeiro, CBDB 2012.

BAASCH, Sandra S. Nahas. **Um sistema de suporte multicritério aplicado na gestão dos resíduos sólidos nos municípios catarinenses**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 1995.

BISWAS, A.K. **Mathematical modeling and environmental decision-making. Ecological Modelling**, n. 1, p. 31-48, 1975.

BOWKER, L. N.; CHAMBERS, D. M. **The risk, public liability, & economics of tailings storage facility failures**. July 21, 2015

BRADLOW, D.; PALMIERI, A.; SALMAN M. A. S. **Regulatory frameworks for dam safety - a comparative study**. The International Bank for Reconstruction and Development/World Bank, 2002.

BRASIL. Lei 12.334. **Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais**. 2010.

BURRIS, R. K.U.; CANTER, L. C. **Cumulative impacts are not properly addressed in environmental assessments**. *Environmental Impact Assessment Review* , 17, 5-18; 1997.

CAMPOS, A. R.; SOARES-FILHO, B. S. **Modelagem de sistemas ambientais como suporte à tomada de decisão em políticas públicas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO

DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013.

CANADIAN DAM ASSOCIATION – CDA. **Dam safety guidelines**. 1999.

CARRARA, O.V. **Ética, Meio Ambiente e Mineração**. INTERthesis: Revista Internacional Interdisciplinar, 2016, Vol.13(3), pp.121-142

CARVALHO N. B. **Avaliação dos Impactos Sinérgicos e Cumulativos de Pequenas Centrais Hidrelétricas Construídas em Sequência**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

CARVALHO, C. S. **Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na análise de decisão**. 1996. 192 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blucher, 1999. 236 p.

CLEMEN, R.T., **Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis**, Boston: PWS-Kent Publishing Company, 1991.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. **Informe CBDB**. Edição nº 60, 2015.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). Deliberação Normativa nº 62. **Dispõe sobre critérios de classificação de contenção de rejeitos, de resíduos e reservatórios de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais**. 2002

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). Deliberação Normativa nº 87. **Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM nº 62, de 17/12/2002, que dispõe sobre critérios de classificação de contenção de rejeitos, de resíduos e reservatórios de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais**. 2005.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA Resolução Conama no 237. **Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 22 dez. 1997. Seção 1. p. 30.841-30.843.

COOPER, L. M.; SHEATE, W. R. **Cumulative effects assessment: A review of UK environmental impact statements**. Environmental Impact Assessment Review; v.22, p. 415-439; 2002.

DA SILVA, G.A; TEIXEIRA BOAVA, D.L; FELICIO MACEDO, F.M. **Refugiados de Bento Rodrigues: O Desastre de Mariana, MG**. Revista Pensamento Contemporâneo em Administração, 2017, Vol.11 (2), p.63-82

dangerous occurrences - Lessons learnt from practical experiences. Paris: UNEP/ICOLD, 2001. (Bulletin 121).

DELLIOU, P. **Le. dam legislation report**. ICOLD European Club, dez. 2014. Disponível  
[http://cnpqb.apambiente.pt/IcoldClub/documents/Legislation\\_2014/ICOLD%20EurClub%20-Dam%20Legislation%20Report%20-%20Dec%202014.pdf](http://cnpqb.apambiente.pt/IcoldClub/documents/Legislation_2014/ICOLD%20EurClub%20-Dam%20Legislation%20Report%20-%20Dec%202014.pdf)> Acesso em 21 março. 2019.

DINIZ, J.M.F.S; et al. **Detecção da expansão da área minerada no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, no período de 1985 a 2011 através de técnicas de sensoriamento remoto**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 20, no3, p.683-700, jul-set, 2014.

DRUMMOND, G.M. **Biodiversidade em Minas Gerais: Um Atlas para sua Conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2008.

EGLER, P. C. G. 2001. **Perspectiva do Uso da Avaliação Ambiental Estratégica no Brasil**. Parcerias estratégicas, Brasília, v. 11, n. Junho 2001, 2001.

EPA - Environmental Protection Agency. **Principles of Environmental Impact Assessment Review**. July, Washington, D.C., U.S., 1998.

ESPÓSITO, T. J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeito construídas por aterro hidráulico**. 2000. 363 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2000.

ESPÓSITO, T.J; DUARTE, A.P.D. **Classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais em relação a fatores de risco Risk-factor classification of tailings and industrial waste dams**. Revista Escola de Minas, 2010, Vol.63(2), pp.393-398.

FERREIRA, L. C.; CANTARINO, A. A. **O Processo de Avaliação de Impacto Ambiental –Uma Revisão da Literatura**. XII Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. São Paulo, SP. Brasil. 2010.

FERREIRA, L. C.; CANTARINO, A. A., **Análise do processo de avaliação de impactos ambientais indiretos, cumulativos e sinérgicos nos estudos de impacto ambiental de grandes projetos do PAC**. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 1984-9354. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 12 -13 de Agosto de 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Gestão de barragens de rejeitos e resíduos em Minas Gerais : histórico, requisitos legais e resultados.** Fundação Estadual de Meio ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual de Meio Ambiente, 2008.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de barragens do Estado de Minas Gerais: ano 2017.** Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2018.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de barragens do Estado de Minas Gerais: ano 2016.** Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2017.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de barragens do Estado de Minas Gerais: ano 2015.** Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2016.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de barragens do Estado de Minas Gerais: ano 2014.** Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2015.

GOLDER. **Operating manual for the tailings management facility at the Lisheen mine.** Ireland: Golder Associates, 1999.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Construção de Base Ottocodificada de Minas Gerais (Manual Técnico).** Belo horizonte. 2012. 72 p.

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS – ICOLD. Tailings dams: risk of JACOBI, C.M; CARMO, F.F; VINCENT, R.C. **Vegetação sobre canga e seu potencial para reabilitação ambiental no Quadrilátero Ferrífero, MG.** Revista Árvore, Viçosa, v.32, p.345-353, 2008.

LISBOA, M. V. **Contribuição para tomada de decisão na classificação e seleção de alternativas de traçado para rodovias em trechos urbanizados.** 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LOZANO, F. A. E. **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica.** 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica), Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, USP, São Paulo, 2006.

ANDRADE, L. C. R. Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil. Tese (Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2014.

LUINO, F.; DE GRAFF, J. V. **The Stava mudflow of 19 July 1985 (Northern Italy): a disaster that effective regulation might have prevented Tailings Dam Incidents,** U.S. Committee on Large Dams - USCOLD, Denver, Colorado, 1994.

MACHADO M. M. M. **Construindo a imagem geológica do Quadrilátero Ferrífero: conceitos e representações**. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MACHADO, W. G. **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração**. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral), Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, USP, São Paulo, 2007.

MARTIN, T. E.; DAVIES, M. P.; RICE, S.; HIGGS, T.; LIGHTALL, P. C. **Stewardship of tailings facilities**. Vancouver, B.C.: AMEC Earth & Environmental Limited/AMEC Simons Ltd., 2002.

MARTINS, R. **Legislação sobre segurança de barragens a nível mundial**. Jornada Técnica. Legislação sobre segurança de barragens. Projeto NATO-PO FLOODRISK MANAGEMENT. LNEC, 15 de nov. 1999.

MEDEIROS, C. H. A. C. **Utilização da técnica de análise de probabilidade de risco na avaliação de segurança de barragens**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 23., 1999. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 1999.

MELLO, F.M; PIASENTIN, C. **A história das barragens no Brasil**. Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Avaliação ambiental estratégica**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente: Centro de informação e documentação Luis Eduardo Magalhães. 2002

MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL. **Barragem que não possuem certificação de estabilidade são alvos do mpmg**. 2019. Disponível em <<https://www.mpmg.mp.br/comunicacao/noticias/barragens-que-nao-possuem-certificacao-de-estabilidade-sao-alvos-do-mpmg.htm>> Acesso em 13 abr. 2019

MITTERMEIER, R. A.; et al. **Biodiversity Hotspots and Major Tropical Wilderness Areas: Approaches to Setting Conservation Priorities**. *Conservation Biology*, v.12, p.516–520, 1998.

MOURA, A.C.M. **Reflexões Metodológicas como subsídio para Estudos Ambientais baseados em Análise de Multicritérios**. Anais XIII SBSR – INPE, p. 2899-2906, 2007.

MYSIAK, J. et al. **Environmental modelling, software and decision support: state of the art and new perspectives**. Amsterdam: Elsevier B.V., 2008. cap. 6, p. 87-100.

OLIVEIRA V. R. S. **Impactos cumulativos na avaliação de impactos ambientais: fundamentação, metodologia, legislação, análise de experiências e formas de**

**abordagem.** Dissertação de M.Sc. Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, São Paulo, Brasil. 2008.

OXLEY, T.; MCINTOSH, B.S.; WINDER, N.; MULLIGAN, M.; ENGELEN, G. Integrated modelling and decision-support tools: a Mediterranean example. **Environmental Modelling & Software**, n. 19 , p. 999-1010, 2004.

PEDROSA, L. **Reavaliação do sistema de classificação de barragens realizado pelo DNPM.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica). Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2017.

PENMAN, A. D. M. **Risk analyses of tailings dam construction.** In: seminar on safe tailings dam constructions, Gallivare, Swedish Mining Association, Natur Vards Verket, European Commission, 2001.

RIZZOLI A.E. et al.. **Environmental modelling, software and decision support: state of the art and new perspectives.** Amsterdam: Elsevier B.V., 2008. cap. 6, p. 87-100.

ROMANELLI, M.C.M. **Relatório Técnico DIRIM Nº 01/2007: Evolução das Ações de Gestão de Barragens de Contenção de Rejeitos, de Resíduos e de Reservatórios de Água em Empreendimentos Industriais e Minerários no Estado.** Fundação Estadual do Meio Ambiente, Belo Horizonte, 2007.

RUCHKYS, U. A. **Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO.** Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

RUCHKYS, U. A.; MACHADO, M. M. M. **Patrimônio geológico e mineiro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais – Caracterização e iniciativas de uso para educação e geoturismo.** Boletim Paranaense de Geociências, 2013, Vol 70, pp.120-136.

RUCHKYS, U. A.; MACHADO, M. M. M.; CASTRO, P. T. A.; RENGER, F. E.; TREVISOL, A.; BEATO, D. A. C. **Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG): proposta.** CPRM, 2012.

SAATY, T.L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures.** Journal of mathematical psychology, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T.L. **Método de análise hierárquica.** São Paulo: McGrawHill Pub. Co., 1991. 367 p.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Nota de esclarecimento 1 – desastre barragem B1. 2019. Disponível em <http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/1/3734-nota-de-esclarecimento-brumadinho->. Acesso em 10 fev. 2019.

SILVA, J.X. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**, 227 p., 2001

SILVEIRA, E.B.S.; READES, D.W. **Barragens para contenção de rejeitos**. In: seminário nacional de grandes barragens, 9, 1973, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SNGB, 1973. 35p. Tema 2.

SOARES-FILHO, B.S.; RODRIGUES, H.O.; COSTA, W.L.S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 3089-3096. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-3096.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2018.

TAILSAFE Report. **Sustainable improvement in safety of tailings facilities. Tailings Management Facilities** – Legislation, Authorisation, Management, Monitoring and Inspection Practices. Finlândia, nov. 2005.

UNITED STATES COMMITTEE ON LARGE DAMS – USCOLD. **Tailings Dams Incidents**. 2004. 82p. Disponível em:<<http://www.icold.br>> Acesso em 11 nov. 2018.

VICK, S.G. **Planning, design and analysis of tailing dams**. New York, 1983.

VIEIRA, Vicente. P. P. B. **Análise de riscos em recursos hídricos – fundamentos e Aplicações**. Porto Alegre RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), nov. 2005.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY – WSDE. **Dam safety guidelines - part IV, Dam design and construction**, Olympia, 1993. p. 178. Disponível em < <http://www.tailings.info/water.htm> >. Acesso em 11 nov 2018.