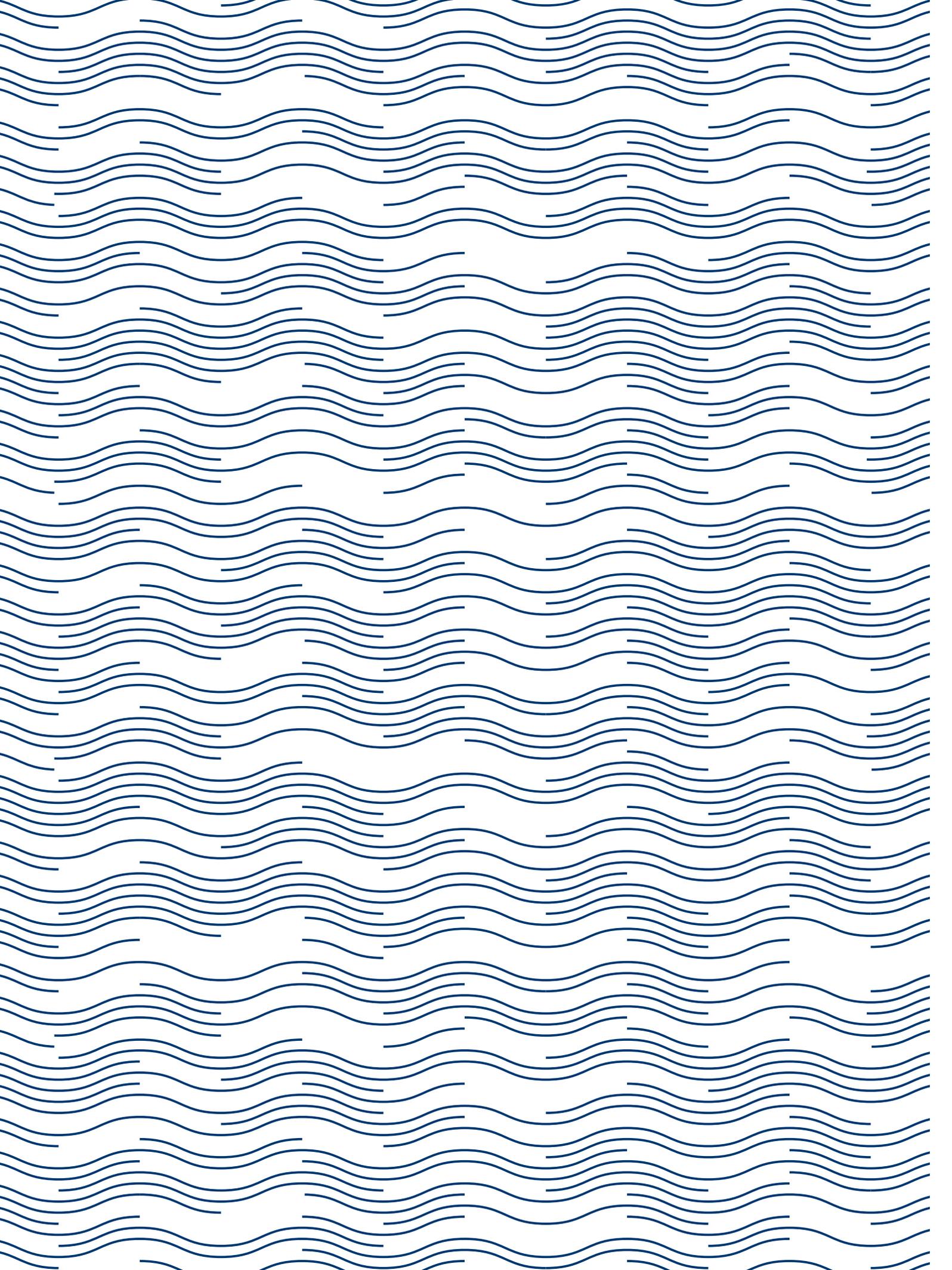
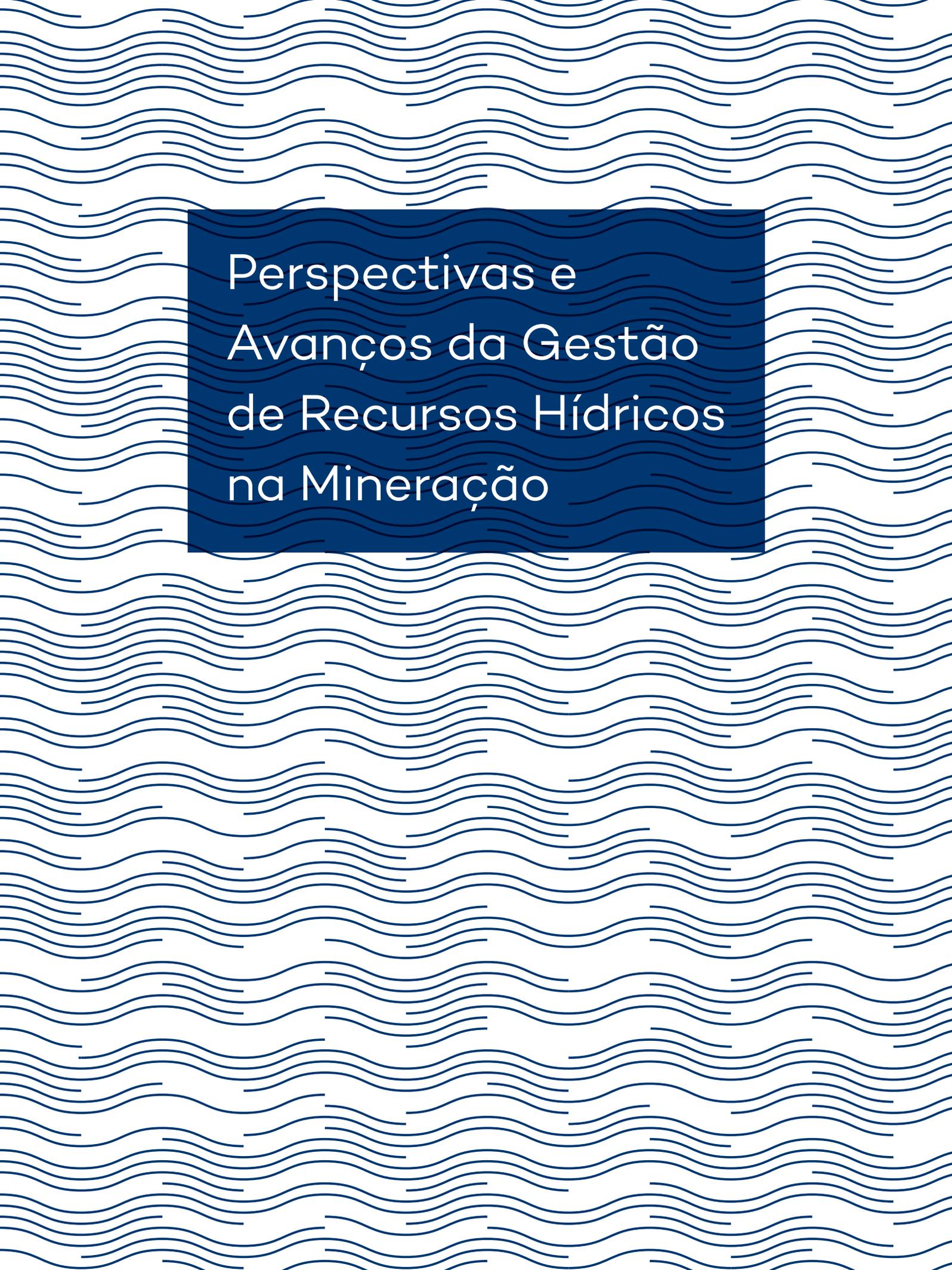


Perspectivas e Avanços da Gestão de Recursos Hídricos na Mineração





Perspectivas e
Avanços da Gestão
de Recursos Hídricos
na Mineração

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente da República

Ministério da Integração e de Desenvolvimento Regional

Waldez Góes
Ministro

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Diretoria Colegiada

Veronica Sánchez da Cruz Rios (Diretora-Presidente)
Filipe de Mello Sampaio Cunha
Ana Carolina Argolo
Nazareno Araújo (Interino)
Marcelo Medeiros (Interino)

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM)

DIRETORIA EXECUTIVA

Raul Jungmann

Diretor-Presidente do IBRAM

Fernando Azevedo e Silva

Vice-Presidente do IBRAM

Alexandre Valadares Mello

Diretor de Assuntos Associativos e Mudança do Clima

Julio Cesar Nery Ferreira

Diretor de Sustentabilidade

Paulo Henrique Leal Soares

Diretor de Comunicação

Rinaldo César Mancin

Diretor de Relações Institucionais

Osny Vasconcellos

Diretor Administrativo e Financeiro

CONSELHO DIRETOR

BIÊNIO 2021-2023

Presidente do Conselho:

- Anglo American Brasil
Ana Sanches – Titular

Vice-Presidente do Conselho:

- Lundin Mining
Ediney Maia Drummond – Titular

Conselheiros:

- Alcoa
Eduardo Doria – Titular
Michelle Shayo – Suplente
- Anglo American Brasil
Ivan de Araujo Simões Filho – Suplente

- AngloGold Ashanti
Marcelo Pereira – Titular
Othon de Villefort Maia – Suplente
- ArcelorMittal
Wagner de Brito Barbosa – Titular
Wanderley José de Castro – Suplente
- BAMIN
Eduardo Jorge Ledsham – Titular
Alexandre Victor Aigner – Suplente
- Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM
Eduardo Augusto Ayroza Galvão Ribeiro – Titular
Ricardo Fonseca de Mendonça Lima – Suplente
- Copelmi Mineração Ltda
Cesar Weinschenck de Faria – Titular
Roberto da Rocha Miranda de Faria – Suplente
- Embu S.A. Engenharia e Comércio
Daniel Debiazzi Neto – Titular
Luiz Eulálio Moraes Terra – Suplente
- Kinross Brasil Mineração S.A.
Gilberto Carlos Nascimento Azevedo – Titular
Ana Cunha – Suplente
- Lundin Mining
Luciano Antonio de Oliveira Santos – Suplente

- Mineração Caraíba S.A.
Eduardo de Come - Titular
Antonio Batista de Carvalho Neto - Suplente
- Mineração Paragominas S.A. (HYDRO)
Anderson Baranov - Titular
Paula Amelia Zanini Marlieri - Suplente
- Mineração Rio Do Norte S.A. – MRN
Guido Roberto Campos Germani - Titular
Vladimir Senra Moreira - Suplente
- Mineração Taboca S.A.
Newton A. Viguetti Filho - Titular
Ronaldo Lasmar - Suplente
- Mineração Usiminas S.A.
Carlos Hector Rezzonico - Titular
Marina Pereira Costa Magalhães - Suplente
- Minerações Brasileiras Reunidas - MBR
Octavio Bulcão - Titular
Marcelo Sampaio - Suplente
- Mosaic Fertilizantes
Adriana Kupcinkas Alencar - Titular
Emerson Araken Martin Teixeira - Suplente
- Nexa Resources
Jones Belther - Titular
Guilherme Simões Ferreira - Suplente
- Samarco Mineração S.A.
Rodrigo Alvarenga Vilela - Titular
Felipe Starling - Suplente
- Vale
Alexandre Silva D´Ambrosio - Titular
Lauro Angelo Dias de Amorim - Suplente
Marcello Magistrini Spinelli - Titular
Daniella Gonçalves de Barros Silveira de Queiroz - Suplente
Rafael Bittar - Titular
Helga Paula Patrícia Franco - Suplente

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO
MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO

Perspectivas e Avanços da Gestão de Recursos Hídricos na Mineração

Brasília – DF
ANA | IBRAM
2024

© 2024 **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)**

Setor Policial, Área 5, Quadra 3,
Edifício Sede, Bloco M
CEP: 70.610-200 – Brasília/DF
Telefone: (61) 2109-5400 / 5252
Endereço eletrônico:
<https://www.gov.br/ana/pt-br>

Disponível também em
www.gov.br/ana/pt-br

© 2024 **Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM)**

SHIS QL 12 cj 0 (zero) casa 04, Lago Sul.
CEP:71.630-205 – Brasília/DF
Telefone: (61) 3364-7272
Endereço eletrônico:
<http://www.ibram.org.br>

Comissão de Editoração - ANA

Joaquim Gondim (Coordenador)
Humberto Cardoso Gonçalves
Ana Paula Fiorese
Roxane Pinheiro Alves (Secretária-
Executiva substituta)

EQUIPE EDITORIAL

Supervisão editorial

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Gleyce Anne Cardoso
Fernanda Abreu Oliveira de Souza

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

Cláudia Franco de Salles Dias
Júlio César Nery Ferreira
Maria de Lourdes Pereira dos Santos
Patrícia Helena Gambogi Boson

Produção

Agência Nacional de Águas e Saneamento
Básico – ANA
Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM

Projeto Gráfico, diagramação, capa e ilustrações:

Pablo Frioli

Fotografias

Banco de Imagens ANA
As ilustrações, tabelas e gráficos sem
indicação de fonte foram elaboradas pela
ANA ou IBRAM.

Catálogo na fonte: CEDOC/BIBLIOTECA

A265p Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil).
Perspectivas e avanços da gestão de recursos hídricos na mineração / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Instituto Brasileiro de Mineração. – Brasília : ANA, IBRAM, 2024.
306 p. : il.
ISBN: 978-85-61993-18-4
1. Água – Gestão. 2. Mineração. I. Título. II. Instituto Brasileiro de Mineração
CDU 556.18:622

Elaborada por Fernanda Medeiros – CRB-1/1864

© Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

EQUIPE TÉCNICA E COORDENAÇÃO

Coordenação Geral

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Ana Carolina Argolo Nascimento de Castro
Fernanda Abreu Oliveira de Souza

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

Júlio Cesar Nery Ferreira
Cláudia Franco de Salles Dias

Coordenação Técnica e Executiva

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Fernanda Abreu Oliveira de Souza
Gleyce Anne Cardoso

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

Cláudia Franco de Salles Dias
Patrícia Helena Gambogi Boson
Maria de Lourdes Pereira dos Santos

Elaboração e revisão dos originais

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Aline Cristina Leal Costa Da Silva
Consuelo Franco Marra
Fernanda Abreu Oliveira de Souza
Flavia Carneiro da Cunha Oliveira
Gisela Damm Forattini
Henrique Pinheiro Veiga
Leandro Mendes da Silva
Luis Augusto Preto
Marcelo Araújo da Costa
Marco José Melo Neves
Marcus André Fuckner
Nazareno Araújo
Nelson Neto de Freitas
Patrick Thadeu Thomas
Paula Ribeiro Salgado Pinha
Priscyla Conti de Mesquita
Rogério de Abreu Menescal
Saulo Aires de Souza
Vera Maria da Costa Nascimento

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

Antonio Carlos Bertachini
Ayla Margie de Leão Graig
Bruno Santos Ferraz
Cláudia Franco de Salles Dias
Daniel Pérez Bertachini
David Veiga Soares
Edmar Eufrásio
Giani Aparecida Santana Aragão
Guilherme Alves de Melo
Joaquim Pimenta de Ávila
Júlio Cesar Nery Ferreira
Leonardo S. Oliveira
Maria de Lourdes Pereira dos Santos
Maria Jose Gazzi Salum
Mário Cicarelli Pinheiro -
Patrícia Helena Gambogi Boson
Renata Gaudereto Andries
Tácito Ribeiro de Matos
Tereza C. F. C. M. Filpi
Thaiza C. C. Bissacot
Virginia S. T. Ciminelli
Vítor Rodrigues Quites

ANM – Agência Nacional de Mineração

Mauro Henrique Moreira Sousa
Eliezer Senna Gonçalves Júnior
Kalyl Gomes Calixto
Luiz Paniago Neves
Yara Barbosa Franco

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

Silvia Cristina Alves França
Suellen Marques Silva
Ariel Wanis

CAPÍTULO 1

- 31** **Figura 1:** Cobrança pelo uso dos recursos hídricos implementada em bacia interestadual.
- 33** **Figura 2:** Planos de recursos hídricos de bacias hidrográficas interestaduais.

CAPÍTULO 2

- 65** **Figura 3:** Demanda de água (%) por grupo da mineração.
- 66** **Figura 4:** Desenho esquemático do uso, reúso e recirculação de água.
- 68** **Figura 5:** Exemplos de uso de aspersores *on line* com uso potencial de água recirculada.
- 69** **Figura 6:** Exemplos de sonda multi parâmetros para monitoramento *on line*.
- 71** **Figura 7:** Exemplo de piezômetro com sistema de telemetria, com alimentação solar e comunicação por sinal satélite e celular.
- 72** **Figura 8:** Desenho esquemático dos tipos de dados possíveis de se adicionar a banco de dados de *softwares* que irão auxiliar na gestão hídrica dentro da mineração.
- 73** **Figura 9:** Exemplo de modelo hidrogeológico com malha estruturada à esquerda e não estruturada à direita.
- 74** **Figura 10:** Unidade de beneficiamento móvel a seco (base natural).
- 75** **Figura 11:** Aplicação de painéis solares sobre reservatórios de água.
- 78** **Figura 12:** Aspectos a serem considerados em um plano de gestão de recursos hídricos.
- 80** **Figura 13:** O consumo de água no Brasil por setor em 2021.
- 82** **Figura 14:** Exemplos de metais e ligas produzidos por diferentes abordagens utilizadas na metalurgia extrativa.
- 84** **Figura 15:** Operações de moagem (à esquerda) e flotação de minérios de ouro (à direita), com detalhe para a espuma mineralizada.

- 86** **Figura 16:** A produção do aço em fornos (superior) e a laminação (inferior).
- 87** **Figura 17:** Tanques com agitação (à esquerda) usados na lixiviação de minério.
- 92** **Figura 18:** Processo produtivo da Samarco Mineração S.A.
- 94** **Figura 19:** Rota dos minerodutos Samarco.
- 95** **Figura 20:** Estruturas do mineroduto 3.
- 96** **Figura 21:** Elementos do sistema de selagem em bombas de polpa.
- 97** **Figura 22:** Substituição de gaxetas por selo mecânico nas bombas centrífugas do mineroduto.
- 97** **Figura 23:** Estudo da empresa Flowserve.
- 98** **Figura 24:** Bomba de diafragma modelo Geho TZPM 2000
- 102** **Figura 25:** Construção de um piezômetro
- 103** **Figura 26:** Foto de bateria de poços na Mina do Cauê, anos 1980.
- 104** **Figura 27:** Foto da utilização de traçador em um ponto de infiltração de água, em mina a céu aberto.
- 106** **Figura 28:** Mapa de localização da APA sul RMBH.
- 107** **Figura 29:** Bloco Brumadinho.
- 108** **Figura 30:** Bloco Rio Acima.
- 109** **Figura 31:** Bloco Acurui.
- 116** **Figura 32:** Esquema exemplificativo do uso da água nas diversas etapas de uma mineração de minério de ferro.
- 119** **Figura 33:** Linha do tempo para o desenvolvimento dos Padrões e critérios para o cálculo do balanço hídrico.
- 120** **Figura 34:** Limite hídrico operacional adaptado do guia ICMM, 2023.
- 126** **Figura 35:** Fluxograma esquemático do balanço hídrico.

- 127** **Figura 36:** Operação hipotética de captação a fio d'água.
- 128** **Figura 37** Operação hipotética de captação a fio d'água com reservação (Ano 1)
- 128** **Figura 38:** Operação hipotética de captação a fio d'água com reservação (Ano 2).
- 130** **Figura 39:** Faixas do uso específico Vale (m³/t) no ano de 2022.
- 137** **Figura 40:** Participação da demanda por grupo de mineração.
- 138** **Figura 41:** Tipologia predominante da mineração por município.
- 139** **Tabela 5:** Municípios com maiores demandas de uso de água para mineração no Brasil (2023).
- 141** **Figura 42:** Evolução da retirada de água da mineração no Brasil.
- 142** **Figura 43:** Evolução da quantidade de outorgas emitidas conforme a proporção de água na polpa.
- 142** **Figura 44:** Uso específico de água para extração de minerais até 10 m³/tonelada.
- 143** **Figura 45:** Uso específico de água para extração de minerais acima de 10 m³/tonelada.
- 144** **Figura 46:** Atos de regularização de usos de recursos hídricos segundo o domínio do corpo hídrico.
- 144** **Figura 47** Atos de regularização de usos de recursos hídricos estaduais segundo o tipo de corpo hídrico.
- 145** **Figura 48:** Atos de regularização de usos associados às atividades de mineração segundo o domínio dos corpos hídricos.
- 146** **Figura 49:** Atos de regularização de usos associados às atividades de mineração em corpos hídricos de domínio dos estados segundo o tipo de corpo hídrico.
- 146** **Figura 50:** Atos de regularização emitidos para atividades de mineração no Brasil.
- 151** **Figura 51:** Capa do relatório anual da Organização das Nações Unidas 2023 para a água e o ODS 6, relacionado ao tema.

- 154** **Figura 52:** Técnicas para tratamento e reúso de água na mineração.
- 156** **Figura 53:** Disposição de rejeitos: (a) rejeito espessado de níquel sulfetado, Fortaleza de Minas-MG, 2011; (b) rejeito filtrado de minério de ferro, complexo de Itabira
- 157** **Figura 54:** Fluxograma com opções de operações de desaguamento para potencializar o reúso de água de processo.
- 159** **Figura 55:** Tanques de sedimentação para reúso de água de processo, Juazeirinho, Paraíba.
- 160** **Figura 56:** Canaletas para coleta de água do corte das chapas.
- 161** **Figura 57:** Filtro prensa para a separação sólido-líquido eficiente, que permite reúso de água imediato.
- CAPÍTULO 3**
- 175** **Figura 58:** Evolução do cadastro de barragens no SNISB.
- 176** **Figura 59:** Evolução da classificação de barragens.
- 183** **Figura 60:** Prox: esquema geral.
- 185** **Figura 61:** Barragem Fernandinho – Mina Mar Azul – Nova Lima MG, após descaracterização.
- 186** **Figura 62:** Descomissionamento da Barragem B3/B4 , Mina Mar Azul, em Nova Lima – MG , com equipamentos autônomos.
- 187** **Figura 63:** Uso do empilhamento de rejeitos desaguados
- 192** **Figura 64:** Diferentes tipos de rejeitos, seus aspectos e tipos de depósito.
- 193** **Figura 65:** Método de Secagem para disposição de rejeitos finos.
- 194** **Figura 66:** Empilhamento drenado.
- 195** **Figura 67:** Empilhamento filtrado.
- 199** **Figura 68:** Evolução das normas sobre segurança de barragens de mineração no Brasil.
- 211** **Figura 69:** Estrutura da resolução ANM nº 95/2022.

215 **Figura 70:** Estrutura organizacional da ANM relacionada à fiscalização de barragens de mineração em 2023.

220 **Figura 71:** Exemplos de aplicação de drone para detecção de locais com temperatura anômala (em azul): imagem termal (à esquerda) e imagem padrão (à direita). (a) vista de “ponto frio” no talude de jusante de uma barragem de mineração; (b) vista de “ponto frio” decorrente de percolação em terreno natural a jusante de uma barragem de mineração.

CAPÍTULO 4

231 **Figura 72:** A Responsabilidade corporativa sobre o meio ambiente e o desenvolvimento social.

233 **Figura 73:** Integração dos Eixos ESG.

248 **Figura 74:** Variáveis para cálculo da redução do escoamento superficial

249 **Figura 75:** Fluxograma de processamento do modelo matemático SMA.

252 **Figura 76:** Localização da sub-bacia para aplicação da metodologia do modelo SMA.

253 **Figura 77:** Dados hidrometeorológicos diários de entrada no modelo SMA.

254 **Figura 78:** Fluviogramas de vazão média diária gerados pelo modelo SMA.

254 **Figura 79:** Fluviogramas de vazão média diária gerados pelo modelo SMA.

265 **Figura 80:** Distribuição dos projetos apoiados no âmbito do Programa Produtor de Água.

272 **Figura 81:** Vazões de retirada (m^3/s) para o setor mineração nas unidades federativas.

CAPÍTULO 5

273 **Figura 82:** Percentuais de retirada de água (mineração), por região, em relação à retirada total.

277 **Figura 83:** Gráficos do tipo “*stacked bar*” com os resultados do teste MK para os índices $Q_{min7day}$, Q_{med} , Q_{X1day} e Q_{X30day} , divididos por regiões hidrográficas.

LISTA DE FIGURAS

- 278** **Figura 84:** Mapas contendo os resultados do teste de tendência MK para os índices Qmin7day (5a), Qmed (5b), QX1day (5c) e QX30day (5d).
- 280** **Figura 85:** Impacto da mudança climática nas demandas hídricas para um cenário crítico no Brasil em 2040.
- 281** **Figura 86:** Impacto da mudança climática na oferta hídrica para um cenário crítico no Brasil em 2040.
- 282** **Figura 87:** Impacto da mudança climática no balanço hídrico para um cenário crítico no Brasil em 2040.
- 283** **Figura 88:** Percentual de aumento ou “piora” nos níveis de escassez hídrica entre o ano de 2020 e 2040 considerando um cenário de mudança climática.
- 287** **Figura 89:** Impactos, riscos, vulnerabilidades e medidas de adaptação.
- 289** **Figura 90:** Ciclo da ferramenta de apoio à elaboração de estratégias de adaptação.
- 290** **Figura 91:** Etapas do ciclo PDCA voltado para a implantação do plano de adaptação com foco nas empresas do setor de mineração.

LISTA DE QUADROS

- 172** **Quadro 1:** Governança federal no âmbito do Decreto nº 11.310, de 2022.
- 203** **Quadro 2:** Alteração na regulamentação de segurança de barragens de mineração advindas da publicação da Portaria DNMP nº 70.389/2017
- 206** **Quadro 3:** Alteração na regulamentação de segurança de barragens de mineração advindas da publicação da Resolução ANM nº 13/2019
- 224** **Quadro 4:** Regulamentos editados pela ANA

- 59** **Tabela 1:** Desafios priorizados por empresas.
- 77** **Tabela 2:** Ferramentas de avaliação de risco hídrico utilizadas por Mueller.
- 7121** **Tabela 3:** Conceitos relacionados ao balanço hídrico adotados pela Vale.
- 123** **Tabela 4:** Conceitos relacionados ao balanço hídrico adaptados e adotados pela Vale.
- 139** **Tabela 5:** Municípios com maiores demandas de uso de água para mineração no Brasil (2023)
- 147** **Tabela 6:** Outorgas, usos insignificantes e autorizações de uso vigentes para finalidades relacionadas à mineração no Brasil.
- 150** **Tabela 7:** Consumo de água na produção mineral e índice de recirculação por tipologia mineral.
- 152** **Tabela 8:** Parâmetros de água de processo e descarte (CONAMA e outras agências de controle).
- 152** **Tabela 9:** Valores de condutividade elétrica em amostras de água e efluentes de laboratório.
- 154** **Tabela 10:** Parâmetros de qualidade para descarte de água/efluentes industriais.
- 155** **Tabela 11:** Tipos de tecnologias aplicadas na geração de rejeitos e seus benefícios em termos de reúso de água e impactos ambientais.
- 217** **Tabela 12:** Quantidades de ações fiscalizatórias e de estruturas fiscalizadas de 2019 a 2022.
- 219** **Tabela 13:** Presença da ANM em ações emergenciais nos últimos anos.
- 236** **Tabela 14** ODS 6: suas metas, indicadores e relação com outros ODS.
- 240** **Tabela 15:** Procedimento para verificação ESG – Critérios de Avaliação Recursos Hídricos – Uso da Água.
- 241** **Tabela 16:** Procedimento para verificação ESG – Critérios de Avaliação Recursos Hídricos – Gestão de Efluentes.
- 255** **Tabela 17:** Variáveis de entrada e de saída do modelo SMA (mm).

	APRESENTAÇÃO	20
1	CAPÍTULO 1 – A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E A MINERAÇÃO: AVANÇOS INSTITUCIONAIS	25
1.1	A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico: seus avanços e desafios na gestão das águas	27
1.1.1	Competências da ANA	27
1.1.2	Avanços e desafios da gestão das águas	29
1.1.3	Considerações finais	48
1.2	Avanços institucionais – Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM	51
1.2.1	O IBRAM e os recursos hídricos	51
1.2.2	A atuação do setor minerário na governança do sistema de gerenciamento de recursos hídricos	55
1.2.3	Avanço institucional - inovação no setor da mineração abordando gestão de água	58
1.3	Avanços institucionais – Agência Nacional de Mineração – ANM	60
2	CAPÍTULO 2 - O USO DA ÁGUA NA MINERAÇÃO E OS PRINCIPAIS AVANÇOS LEGAIS E TECNOLÓGICOS	63
2.1	Água nos processos de lavra e beneficiamento mineral	64
2.1.1	Introdução	64
2.1.2	Usos da água e avanços tecnológicos	64
2.1.3	Processo de lavra	67
2.1.4	<i>Open Pit</i>	69
2.1.5	Mina subterrânea	70
2.1.6	Processo de beneficiamento e gestão de armazenamento de água de chuva	74
2.1.7	A gestão de risco hídrico alinhada aos processos	76
2.2	Água, beneficiamento mineral e metalurgia	79
2.2.1	Introdução	79
2.2.2	O tratamento de minérios e a metalurgia extrativa	81
2.2.3	A água e os produtos da mineração e da metalurgia	82
2.2.4	A produção de concentrados	83
2.2.5	A água e a produção de metais: o exemplo do ferro e aço	85
2.2.6	A água e a produção de metais via processos hidrometalúrgicos	86
2.2.7	Alguns desafios para a gestão de água na mineração	88
2.2.8	Considerações finais	89

2.3	Minerodutos – O Sistema de transporte de baixo carbono na mineração	91
2.3.1	Introdução	91
2.3.2	Usos da água no processo produtivo da Samarco	92
2.3.3	O mineroduto	93
2.3.4	Inovações tecnológicas na operação do mineroduto: redução do consumo de água	96
2.4	Hidrogeologia e a mineração	99
2.4.1	Introdução	99
2.4.2	Histórico da água e mineração no Brasil	99
2.4.3	Um breve histórico da hidrogeologia no Brasil	100
2.4.4	O desafio na gestão da água nas minas	101
2.4.5	Estudos de caso e outras aplicações	105
2.4.6	Avanço na legislação e regulação	111
2.4.7	Conclusão/desafios futuros	113
2.5	Indicadores de usos da água na mineração	115
2.5.1	Introdução	115
2.5.2	Contexto	117
2.5.3	Descrição técnica	120
2.5.3.1	Limites hídricos espaciais	120
2.5.3.2	Conceitos	121
2.5.3.3	Seleção das fontes de água	124
2.5.3.4	Precisão da informação	124
2.5.4	Balanço hídrico	125
2.5.4.1	Exemplo 1: captação a fio d'água	127
2.5.4.2	Exemplo 2: captação a fio d'água com reservação	127
2.5.5	Indicadores quantitativos	129
2.5.6	Conclusão	130
2.6	Outorga de direito de uso dos recursos hídricos	132
2.6.1	Conceitos gerais da outorga	132
2.6.2	Normativos de outorga	135
2.6.3	Retirada de água para mineração	137
2.6.4	Registros no CNARH	143
2.7	Reúso de água na mineração	149
2.7.1	Introdução	149
2.7.2	Desafios para uso e reúso de água na mineração	151
2.7.3	Melhores práticas para o reúso de água	158
2.7.4	Políticas Públicas para Reúso de Água na Mineração	161

3	CAPÍTULO 3 - A GESTÃO DE BARRAGENS	165
3.1	A Gestão de barragens no Brasil	166
3.1.1	Introdução	166
3.1.2	A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)	168
3.1.3	Panorama da implementação da PNSB no Brasil	175
3.2	Lições aprendidas e a evolução na segurança de barragens de mineração	178
3.2.1	A evolução do Arcabouço regulatório	179
3.2.2	Avanços na autorregulamentação do setor	180
3.2.3	Lições aprendidas e avanços tecnológicos nas estruturas de disposição de rejeitos	183
3.2.3.1	Descaracterização de estruturas de barragens	185
3.2.3.2	Empilhamento de rejeitos desaguados	186
3.2.4	Conclusão	188
3.3	Disposição de rejeitos de mineração em barragens	190
3.3.1	Introdução	190
3.3.2	Alternativas de disposição de rejeito	192
3.3.3	Conclusão	195
3.4	Segurança de barragens de rejeitos: regulamentação e ação	196
3.4.1	Introdução e Conceitos Básicos	196
3.4.2	Aspectos Legais: PNSB e sua regulamentação no setor mineral	198
3.4.3	Aspectos Institucionais	212
3.4.4	Panorama de fiscalização de barragens de mineração	217
3.4.5	Conclusões	222
3.5	A ANA e a gestão de barragens	224
4	CAPÍTULO 4 - ESG, MERCADO VERDE E O CUIDAR DAS ÁGUAS – PRÁTICAS INSTITUCIONAIS	229
4.1	ESG, recursos hídricos e a gestão corporativa	230
4.1.1	Introdução	230
4.1.2	Os recursos hídricos e o ESG	235

4.2	Pagamento por serviços ambientais: o mercado verde em apoio à gestão de recursos hídricos	243
4.2.1	Introdução	243
4.2.2	Sugestões metodológicas	247
4.2.2.1	Metodologia para quantificação da transferência de água para o solo	247
4.2.2.2	Metodologia para a redução da carga de sedimentos	250
4.2.3	Aplicação das metodologias sugeridas	251
4.2.4	Região do quadrilátero ferrífero	251
4.2.5	Região amazônica	256
4.2.6	Possíveis métricas para valoração e os desafios da precificação	257
4.2.7	Conclusão	259
4.3	O programa produtor de água da ANA	261
5	CAPÍTULO 5 - DESAFIOS CONSEQUENTES DA VULNERABILIDADE CLIMÁTICA	269
5.1	Desafios da gestão de recursos hídricos frente à mudança do clima e à vulnerabilidade climática e sua interface com a mineração	271
5.2	Resiliência operacional do setor de mineração à mudança do clima	286
5.2.1	Introdução e contexto	286
5.2.2	Resiliência e ferramentas	288
5.2.3	<i>Aqueduct Atlas</i>	291
5.2.4	<i>General Circulation Models (GCM) Downscaled Data Portal</i>	291
5.2.5	<i>Water risk filter</i>	291
5.2.6	Conclusão	291
	REFERÊNCIAS	294



Cânion do Jatobá, Vila Bela da Santíssima Trindade, Mato Grosso
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

APRESENTAÇÃO ANA

Em 2006, a ANA e o IBRAM estabeleceram parceria para lançar uma publicação que retratasse o estado da arte da interação “água” e “mineração” e oferecesse subsídios para a incorporação dos conceitos de desenvolvimento sustentável no setor minerário. Essa publicação foi intitulada de “A Gestão de Recursos Hídricos e a Mineração¹”.

Agora, em 2024, vislumbramos a oportunidade de nova parceria para apresentar os avanços vivenciados na gestão de recursos hídricos e seu rebatimento na atividade minerária. Parte do nosso contexto mudou, e isso, por si só, é um estímulo para rerepresentar o estado do binômio “água-mineração”.

Nessa nova publicação, seguimos adotando o desenvolvimento sustentável como objetivo, e apresentamos os avanços e perspectivas da gestão de recursos hídricos e da produção minerária nos últimos anos, dando destaque para como essas áreas se entrelaçam e o que elas devem considerar, diante do contexto de mudanças climáticas e da transição energética.

Temos vivenciados, cada vez com mais frequência, situações críticas em termos de disponibilidade de recursos naturais, seja pelo excesso ou pela falta, as quais comprometem a vida da população, a sustentabilidade ambiental e o crescimento econômico. Nesse sentido, a água é um recurso natural de notável importância, por ser transversal e imprescindível para os pilares de qualquer cadeia: social, ambiental ou econômica.

O Brasil é destaque, a nível internacional, em termos de “água” e “minério”. Nosso país tem a maior quantidade de água doce do mundo, com 12% do total existente no planeta; e é também um dos maiores produtores de minério, com mais de 1 bilhão de toneladas produzidas em 2022, e 8% das reservas mundiais de lítio. Esse contexto serve-nos como um estímulo para entregarmos uma gestão adequada desses recursos e sermos referência na busca da sustentabilidade. Nesse sentido, o aprimoramento de ferramentas de gestão e governança, objetivando o uso racional e eficiente da água, é premente.

A atividade minerária tem especificidades de utilização e consumo de água passíveis de provocar alterações nos regimes de corpos hídricos, seja na sua quantidade, seja na qualidade. As preocupações com os impactos da mineração têm servido de estímulo ao aprimoramento do setor, o qual já tem trabalhado com os conceitos de governança ambiental, social e corporativa (ESG), e tem investido em pesquisa, conhecimento, inovação, e a adoção de boas práticas.

1 A 1ª edição da publicação “A gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração” foi lançada em 2006 e está disponível no endereço: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalle/3797

A indústria da mineração responde por cerca de 4% do PIB brasileiro e contribui para o abastecimento de diversas outras indústrias e do agronegócio. Atualmente ela dedica esforços para impulsionar a transição energética, principalmente, por meio da produção de baterias de lítio. Nesse sentido, reforça-se que o conhecimento é um propulsor do desenvolvimento sustentável, e da construção de um ambiente seguro, equilibrado e produtivo.

Esta publicação une esforços no intuito de apresentar as inovações tecnológicas, a regulação da água na atividade minerária, a gestão das barragens e suas lições aprendidas, a adoção de novas práticas institucionais, e as estratégias de consideração e gestão do risco climático para o desenvolvimento de respostas aos eventuais impactos da mudança do clima.

Desejamos que esse documento contribua para aprimorar a atividade minerária no Brasil e para auxiliar a gestão integrada dos recursos hídricos, em seu contexto prático de aplicação, dentro do objetivo expresso na Política Nacional de Recursos Hídricos de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados, aos respectivos usos.

Boa leitura!

Diretoria Colegiada da ANA

Historicamente, os temas “mineração” e “águas” foram regulados, por seus respectivos Decretos, em uma mesma data – 10 de julho de 1934. Naquele início da década de 1930, na terceira fase da industrialização brasileira, o objetivo era fortalecer a indústria nacional, implantar indústrias estatais para atuarem em setores estratégicos, especialmente na área de bens de produção e de infraestrutura, e reduzir a dependência de produtos estrangeiros, com a substituição das importações.

O Decreto 24.642 de 10 de julho de 1934 - Código de Minas, assinado pelo então Presidente Getúlio Vargas, estabeleceu como regra fundamental a distinção entre a propriedade do solo e a propriedade das jazidas e demais riquezas do subsolo, para efeito de exploração. Menciona-se aqui, como curiosidade, o fato deste Decreto ter incluído as fontes de águas minerais, termais e gasosas no âmbito das jazidas minerais.

O Decreto no 24.643 de 10 de julho de 1934 - Código de Águas, tem como relevante o fato de ter dado início à regulamentação e à participação da União no setor de energia elétrica. “A partir de então, a presença estatal aumentou de forma gradual até a década de 1990, quando se iniciou o processo de privatização de algumas das estatais do setor elétrico”.

Institucionalmente, no contexto da relação água e mineração, ainda em 1934, o DNPM, recém-criado, incorporou o já existente Serviço de Águas, sob o nome de Divisão de Águas. Em 1965 esta Divisão de Águas é retirada da estrutura do DNPM e passa a compor o então DAE (mais tarde denominado DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), incumbido de assegurar a execução do Código de Águas.

Após dezenas de anos, à luz de avanços institucionais, legais, políticos, ambientais e sociais, os esforços empreendidos nas atividades que integram os recursos minerais e os recursos hídricos são cada vez mais sustentáveis e inovadores, e sua abordagem e divulgação se fazem necessárias, pelo valor que representam.

Nesse sentido, de forma oportuna, o IBRAM, em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico- ANA, lança a publicação “Perspectivas e Avanços da Gestão de Recursos Hídricos na Mineração”, e em função do momento atual, de amplos debates no âmbito da chamada Transição Ecológica Justa, o presente conteúdo foi estruturado sob a perspectiva de conceitos que se consolidaram, ao longo dos últimos 17 anos, tais como a sustentabilidade e as mudanças climáticas, dentre outros.

Este livro traz um conjunto de capítulos, escritos por diversos especialistas da área, que abordam informações atinentes à gestão e ao uso de água pelo setor de mineração, em diversos níveis: em processos, como fonte de

recursos e meio de transporte; pela avaliação do seu desempenho operacional, por meio de indicadores; pelos caminhos institucionais seguidos pelos agentes públicos, que têm estabelecido um arcabouço normativo moderno baseada em visão colaborativa e compartilhada, exemplificada por esta frutífera parceria entre o IBRAM e a ANA.

Que os marcos da história, os avanços, as transformações tecnológicas e inovadoras, e os bons resultados apresentados na presente publicação inspirem a todos que reconhecem a mineração e a gestão dos recursos hídricos como imprescindíveis ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social, em nosso país.

Boa leitura!

Raul Jungmann
Diretor Presidente
IBRAM



**Cachoeira da Formiga no Jalapão, Tocantins.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA**

1

A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E A MINERAÇÃO: AVANÇOS INSTITUCIONAIS





Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.
Foto: Banco de imagens da ANA

1.1 A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico: seus avanços e desafios na gestão das águas

- Nazareno Araújo²
- Fernanda Abreu Oliveira de Souza³
- Gisela Damm Forattini⁴

1.1.1 Competências da ANA

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, criada pela Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, tem por finalidade implementar, no âmbito de suas competências, a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, nos termos da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e instituir normas de referência para a regulação de serviços públicos de saneamento básico, observando as diretrizes para a função de regulação estabelecidas na Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.

A atuação da ANA obedece aos fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos da PNRH e da Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, e é desenvolvida em articulação com órgãos e entidades públicas e privadas integrantes do SINGREH, cabendo-lhe as atribuições constantes das Leis nº 9.433, de 1997; 9.984, de 2000; 10.881, de 9 de junho de 2004; 11.445, de 2007; 13.848, de 25 de junho de 2019; e 14.026, de 15 de julho de 2020.

No âmbito nacional, o novo Plano Nacional de Recursos Hídricos foi aprovado pela Resolução CNRH nº 232, de 2022, com horizonte temporal até 2040. O Plano Nacional de Recursos Hídricos é o documento-guia que contém as diretrizes e ações para orientar a implementação da PNRH e o fortalecimento das instituições do SINGREH, para que atuem de maneira integrada em prol de uma eficiente gestão dos recursos hídricos.

2 Analista Administrativo. Diretor interino e Secretário Geral da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Email: nazareno.araujo@ana.gov.br

3 Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Assessora da Diretora Ana Carolina Argolo. E-mail: fernanda.abreu@ana.gov.br

4 Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Assessora Especial Internacional. E-mail: gisela@ana.gov.br

Em termos de evoluções estruturais, em 2010, quando da publicação da PNSB, a ANA passou por um momento de inflexão, inserindo novas rotinas em seus processos considerando as previsões da Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010. As novas rotinas envolviam, principalmente, o gerenciamento de riscos para garantir a segurança das barragens sob sua jurisdição e a coordenação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Assim, a ANA passou a organizar, implantar e gerir o Sistema, com informações e dados de todos os Órgãos Fiscalizadores de Barragem (OFSB) e empreendedores, ficando sob sua responsabilidade regular e fiscalizar as barragens cujo uso principal é a acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico, situadas em corpos hídricos de domínio da União.

Também em 2010, por meio da Lei nº 12.058, de 13 de outubro de 2009, foi estabelecida competência para a ANA regular e fiscalizar, quando envolverem corpos de água de domínio da União, a prestação de serviços públicos de irrigação, se em regime de concessão, e adução de água bruta, cabendo à Agência disciplinar, em caráter normativo, a prestação desses serviços, a fixação de padrões de eficiência e o estabelecimento



**Cânion de Furnas, Capitólio, Minas Gerais.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA**

da tarifa, quando cabíveis, e a gestão e auditoria de todos os aspectos relativos aos contratos de concessão, quando existentes.

Mais recentemente, em 2020, a Agência Nacional de Águas mudou seu nome para Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, em função da publicação do Novo Marco do Saneamento Básico, Lei 14.026, que conferiu à Agência a atribuição de emitir normas de referência para o setor de saneamento básico.

Essas foram as grandes mudanças estruturais ocorridas nos últimos anos na ANA e que refletiram nas competências da Agência, que tem hoje como missão garantir a segurança hídrica para o desenvolvimento sustentável do país e contribuir para a universalização do saneamento básico.

■ 1.1.2 Avanços e desafios da gestão das águas

Frente ao fato de que a água é um elemento transversal que permeia o desenvolvimento sustentável em todas as suas vertentes: social, ambiental e econômica; e ao contexto de crescimento da demanda pelo uso da água, especialmente nos grandes centros urbanos e para o setor de irrigação; do aumento do número de conflitos pelo uso da água; da ocorrência mais frequente e intensa de eventos extremos decorrentes da mudança do clima; do clamor pela transição energética e da adoção de fontes de energia renovável, tendo a matriz elétrica brasileira forte dependência da produção hidráulica; e da meta de universalizar o saneamento básico no Brasil até 2033, a ANA tem desenvolvido linhas de atuação para contribuir com todas essas frentes.

Dessa forma, a Agência tem atuado em cinco dimensões: Implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e Fortalecimento dos Entes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH); Regulação dos Usos dos Recursos Hídricos; Regulação da Prestação dos Serviços Públicos de Irrigação e Adução de Água Bruta; Segurança de Barragens; e Instituição de Normas de Referência para a Regulação dos Serviços Públicos de Saneamento Básico (componentes: água, esgoto, drenagem urbana e resíduos sólidos).

Considerando o marco da sua criação, em 2000, merece destaque o avanço alcançado na implementação dos instrumentos da PNRH e no fortalecimento dos entes do SINGREH. As principais conquistas foram em relação à outorga, cobrança, planos de recursos hídricos e Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), além de amplas melhorias na operação e manutenção da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e na capacitação dos recursos humanos para a gestão e a regulação dos recursos hídricos.

Desde 2017, os procedimentos de outorga foram automatizados, com a criação do Sistema Federal de Regulação de Uso (REGLA). Encontram-se registrados, até dezembro de 2022, no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), aproximadamente 86% de todos os usos da água no País, equivalendo a pouco mais de 460 mil interferências (válidas ou não válidas), sendo 97% de domínio estadual e, aproximadamente, 3% de domínio da União. Desse total, 297 mil são interferências válidas, ou seja, com atos de regularização vigentes. A adoção do REGLA está sendo expandida para outros estados e bacias hidrográficas, com foco na integração nacional de usos dos recursos hídricos.



As outorgas vigentes em águas de domínio da União, até dezembro de 2022, totalizavam 15.818 interferências, sendo 14.447 captações, 918 lançamentos, 320 barragens e 133 pontos de referência de usos não consuntivos.

Os desafios que a ANA vislumbra para a outorga são: a integração dos dados federais com os dados dos estados, a integração de regras e procedimentos, e a redução do tempo para regularização

dos usos da água. Nesse sentido, está em curso a implementação do projeto Outorga 4.0, que visa integrar a base de dados, as regras e os procedimentos para os pedidos e a automação de todo o processo, a fim de que as outorgas, tanto em âmbito estadual, quanto federal, sejam emitidas de maneira mais célere.

Em função do aumento da demanda de água para os diversos usos e da maior frequência dos conflitos pelo uso da água, a ANA tem construído uma agenda robusta de alocação negociada de água, principalmente, na região Nordeste do Brasil. A alocação é uma outorga planejada e direcionada, que disciplina os usos em sistemas hídricos impactados por estiagens intensas, com emergência ou forte potencial de conflito. Ela é estabelecida a partir de avaliações periódicas do estado hidrológico de cada reservatório ou sistema hídrico, e formalizada, por meio dos Marcos Regulatórios e/ou Termos de Alocação de Água.

Em 2022, foram realizadas 42 reuniões para alocação de água em sistemas hídricos locais e foram elaborados e publicados 436 boletins de acompanhamento das alocações de água realizadas para monitorar a efetividade das alocações.

Ainda dentro da questão dos conflitos pelo uso da água, e visando dar maior efetividade ao instrumento da outorga e ao uso ativo da água, a ANA publicou a Resolução nº 154/2023, que dispõe sobre os procedimentos para suspensão em definitivo de outorgas de direito de uso de recursos hídricos com a finalidade de irrigação. Em 2022, a finalidade irrigação respondeu por 79% das vazões outorgadas e por 78% dos usos insignificantes, sendo o principal uso setorial da água.

Usos outorgados estão sujeitos à cobrança. E a cobrança é o instrumento da PNRH que intenciona promover, na prática, o conceito do uso racional da água. Por meio dela, os usuários de recursos hídricos podem garantir a sustentabilidade financeira da bacia, permitindo assim a consecução das ações previstas nos planos de recursos hídricos.

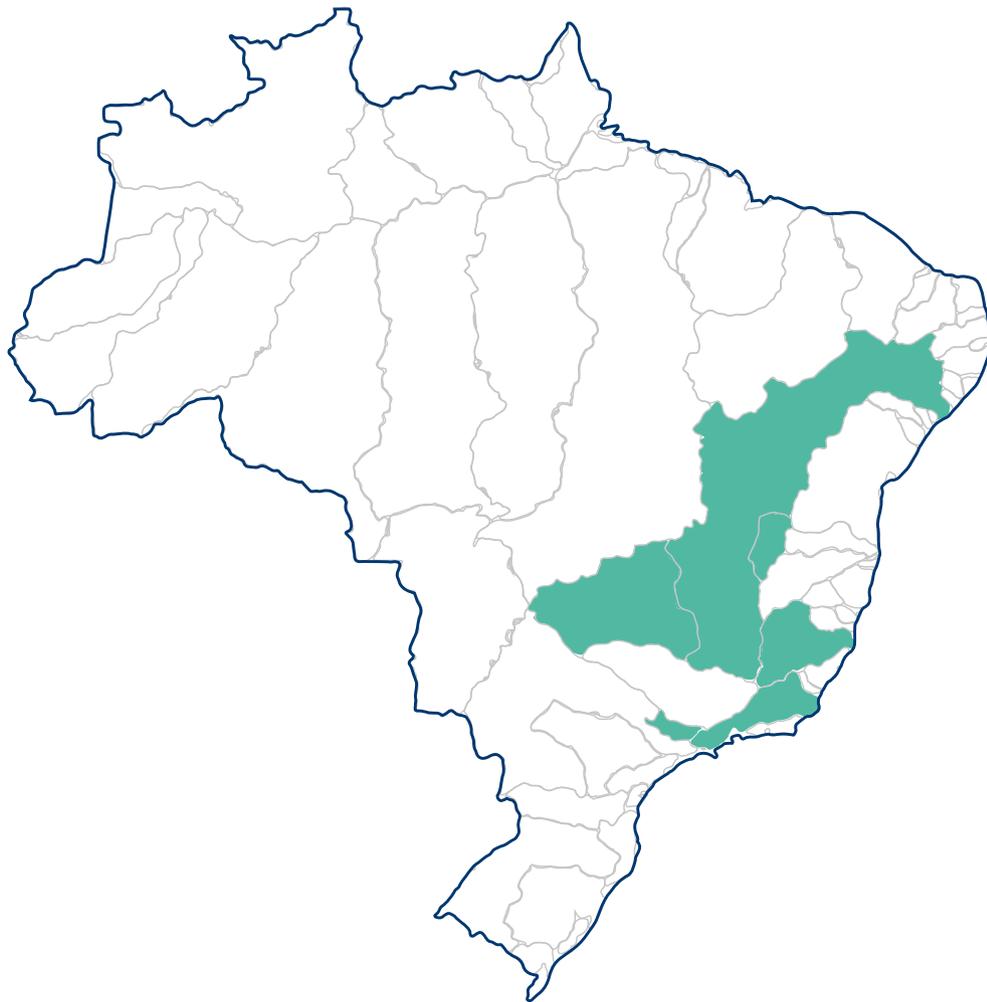


Figura 1: Cobrança pelo uso dos recursos hídricos implementada em bacia interestadual. Fonte: ANA, 2022



**Salto do Rio Preto, Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA**

Entre os 10 comitês de bacias interestaduais instalados, seis contam com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Em 2017, a cobrança arrecadava, aproximadamente, R\$ 60 milhões, e, em 2022, a arrecadação saltou para quase R\$ 130 milhões de reais. Os principais desafios são: a implementação da cobrança nas bacias que ainda não cobram pelo uso da água, e a simplificação de processos de contratação para que os comitês possam tornar efetivos os recursos arrecadados.

Os planos de recursos hídricos tiveram sua lógica de diagnóstico aperfeiçoada e a eles foram acrescentados planos operativos que trazem maior detalhamento e priorização a fim de que esse instrumento alcance efetivamente a melhoria dos usos da água nas bacias. Atualmente, os planos de recursos hídricos cobrem, aproximadamente, 67% do território nacional. Há 12 planos de bacias interestaduais, 169 planos de bacias estaduais e 26 Planos Estaduais de Recursos Hídricos (PERHs) elaborados.

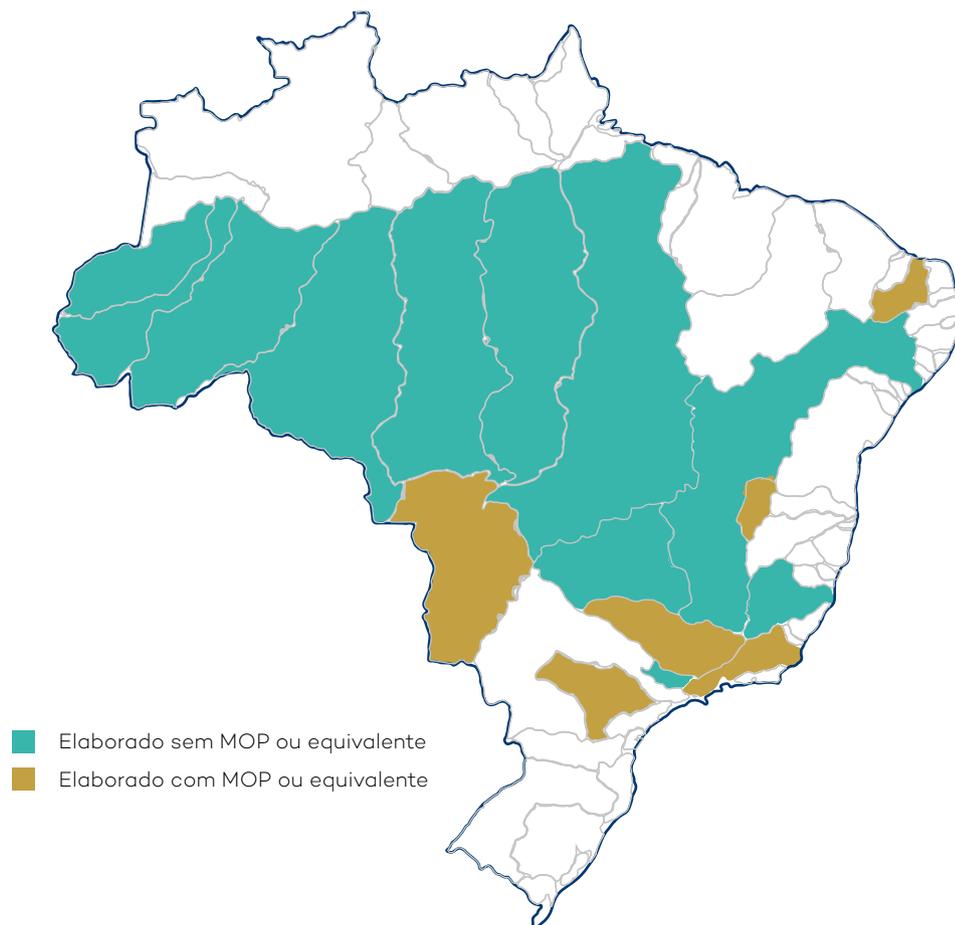


Figura 2: Planos de recursos hídricos de bacias hidrográficas interestaduais. Fonte: ANA, 2022.

Os desafios relacionados aos planos de recursos hídricos são: a definição de responsabilidade pela implementação das ações previstas, consolidação dos planos operativos como forma de dar maior efetividade e consequência ao que foi planejado, e o avanço nas discussões acerca do custeio das ações planejadas.



O SNIRH é o banco de dados e informações nacionais, cuja atribuição de coordenação e implementação é da ANA. Diversos estados também possuem seus próprios Sistemas Estaduais de Informações sobre Recursos Hídricos. As estatísticas monitoradas pela ANA, em 2022, indicaram mais de 242 mil visitantes ao SNIRH, e contabilizaram mais de 600 mil visitas, ou seja, um único visitante explorou o portal mais de uma vez. No total, foram acessadas cerca de 113 milhões de páginas.

Atualmente, o SNIRH é um dos cinco principais sistemas de governo em quantidade de dados em formato aberto. O desafio para esse instrumento é a integração contínua de dados, o aperfeiçoamento nos formatos e nas linguagens de disponibilização das informações, e a sua completa transformação digital.

O enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade, segundo os usos preponderantes, é, atualmente, o instrumento da política com maiores desafios. Atualmente, 13 estados possuem atos normativos que enquadram total ou parcialmente seus corpos d'água. Das 12 bacias interestaduais existentes, apenas três possuem enquadramento aprovado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Importante ressaltar que o enquadramento representa uma boa oportunidade no que se refere à busca pela qualidade da água, pois visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas, bem como diminuir os custos de combate à poluição hídrica, mediante ações preventivas permanentes.

Em termos de fortalecimento dos entes do SINGREH, a Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN e a capacitação para a gestão de recursos humanos são dois importantes processos desenvolvidos pela ANA e que subsidiam os instrumentos da PNRH.

A RHN promove a disponibilização contínua e tempestiva de dados confiáveis e representativos para atendimento aos diversos objetivos do monitoramento. Ela possui mais de 23 mil estações sob responsabilidade de várias entidades, sendo que a ANA gerencia, diretamente, 4.784 estações, sendo: 2.824 pluviométricas (monitoram as chuvas) e 1.960 estações fluviométricas (monitoram os rios). Do conjunto de estações fluviométricas, em 1.469 estações há medição de vazão (descarga líquida), e, em 450, medição de sedimentos em suspensão (descarga sólida).



Há também monitoramento hidrológico em tempo real, específico e obrigatório para o setor elétrico, que conta com 2.342 estações, de 846 empresas. Em 2022, já tinham sido atualizados os levantamentos topobatimétricos de 138 reservatórios, sendo 124 deles já aprovados pela ANA.

Para ampliar o monitoramento da qualidade da água e a sua padronização, a ANA lançou, em 2013, o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água (QUALIÁGUA), agregando mais 2.500 estações de monitoramento operadas pelos estados, nas quais são determinados, além dos parâmetros básicos em campo, parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados em laboratório. Esse é um programa de pagamento por resultados e, entre 2016 e 2022, foram repassados, aproximadamente, R\$ 48 milhões às instituições estaduais parceiras, e infraestrutura para equipar os laboratórios, tais quais: sondas multiparamétricas de qualidade da água, equipamentos de bancada de laboratório, veículos e materiais de consumo, as quais corresponderam, até 2022, a um repasse, em termos financeiros, de R\$ 16 milhões.

Outro avanço da RHN é a automatização da coleta de dados por meio da rede telemétrica. Atualmente, essa rede, sob a responsabilidade direta da ANA, conta com aproximadamente 700 estações cujos dados são transmitidos via satélite e disponibilizados à sociedade em tempo real.

Todas as informações da RHN estão disponíveis de forma gratuita à sociedade no portal do SNIRH da ANA.

The image shows a screenshot of the SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos) portal. The header includes the logo 'Portal do SNIRH' and the full name of the system. Below the header, there is a brief description of the system's purpose. The main content area is divided into several vertical panels, each representing a different function or feature of the portal. These panels include: 'Ler o Conjuntura' (Read the Conjunction), 'Explorar os indicadores' (Explore the indicators), 'Baixar os dados' (Download the data), 'Consultar os sistemas' (Consult the systems), 'Visualizar em smartphone' (View on smartphone), 'Acessar em formato aberto' (Access in open format), and 'Consumir os geoserviços' (Consume the geoservices). A 'Saber mais' (Learn more) button is also visible. The ANA logo and social media icons are located at the bottom left of the interface.

A capacitação em recursos hídricos tem se mostrado um importante subsídio para a gestão participativa e descentralizada da água, tornando os atores do SINGREH mais preparados para a tomada de decisão. Desde sua criação, a ANA realiza ações de capacitação voltadas aos diversos entes do SINGREH e apoia os estados nessa iniciativa. A modalidade a distância ganhou escala de forma vertiginosa a partir de 2011, com a



**Equipamentos de transmissão telemétrica de estação hidrológica, Manacapuru, Amazonas.
Foto: Mariana Sosa**

realização de parcerias específicas, chegando a um patamar de mais de 80.000 certificados emitidos no período de 2011 a 2015, contra 8.167 nos cinco anos anteriores (de 2006 a 2010). Os números continuaram em uma curva crescente, alcançando, entre 2016 e 2020, 111.178 capacitados, e nos últimos dois anos, 2021 e 2022, 66.238 pessoas.

Para a formação acadêmica, no âmbito do Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) e do Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais (PROFCIAMB), já foram ofertadas 360 vagas e defendidas 175 dissertações. Para os próximos anos está prevista a ampliação da oferta de vagas nesses programas para alcançar as 27 unidades da Federação.

Atualmente, um dos focos da agenda de capacitação da ANA é a urgência na formação dos profissionais do setor de saneamento básico para implementação das normas de referência editadas pela ANA.

Visando fortalecer os entes do SINGREH, a ANA implementou dois programas por pagamento de resultados: o Programa de Fortalecimento dos Órgãos Gestores Estaduais de Recursos Hídricos (PROGESTÃO), que desembolsou, entre 2017 e 2022, quase R\$ 130 milhões de reais para ações de gestão; e o Programa de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Estaduais (PROCOMITÊS), com investimento de R\$ 15 milhões. Um resultado significativo obtido por esses programas foi o avanço dos sistemas de informações coordenados pela ANA, como o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) e o Sistema Nacional de Segurança de Barragens (SNISB).

Ainda na seara de programas por pagamento de resultados, a ANA instituiu, em 2001, o Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES) com o objetivo de incentivar a implantação de estações de tratamento de esgotos e reduzir os níveis de poluição dos recursos hídricos no país. Entre 2001 e 2023, foram gerenciados 82 contratos e investidos, aproximadamente, 403 milhões de reais. No Brasil, há registro de 3.668 Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), localizadas em 2007 municípios.

Em 2023, o Brasil foi considerado pela ONU-Água (instituição central das Nações Unidas nos temas de água e saneamento) como um dos países referência no avanço em relação ao Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) - Água Limpa e Saneamento⁵. Essa conquista foi atrelada, principalmente, ao investimento massivo realizado para alavancar o tratamento de efluentes no Brasil. Nas décadas de 2000 e 2010, foram realizadas grandes iniciativas federais, com contribuições

5 <https://www.unwater.org/publications/country-acceleration-case-study-brazil>





Anoitecer no rio Caraíva, Porto Seguro, Bahia.
Foto: Marcus Fuckner/ Banco de Imagens ANA

provenientes de estados e outras fontes. Como resultado, 900 estações de tratamento de águas residuais foram construídas no período entre 2013 e 2019. As ações desenvolvidas têm refletido positivamente, principalmente, nos valores dos indicadores ODS 6.3.1 (Proporção de águas residuais tratadas de forma segura) e ODS 6.3.2 (Proporção de corpos hídricos com boa qualidade ambiental), com melhoria da qualidade das nossas águas⁶.

Em 2023, a ANA aprovou uma nova modelagem para o programa, por meio da Resolução ANA nº 171/2023, prevendo a incorporação de ETEs concluídas, mas inativas; e de empreendimentos que promovam a produção de água para reúso externo e adotem soluções sustentáveis para o tratamento de subprodutos gerados durante o processamento de esgotos.



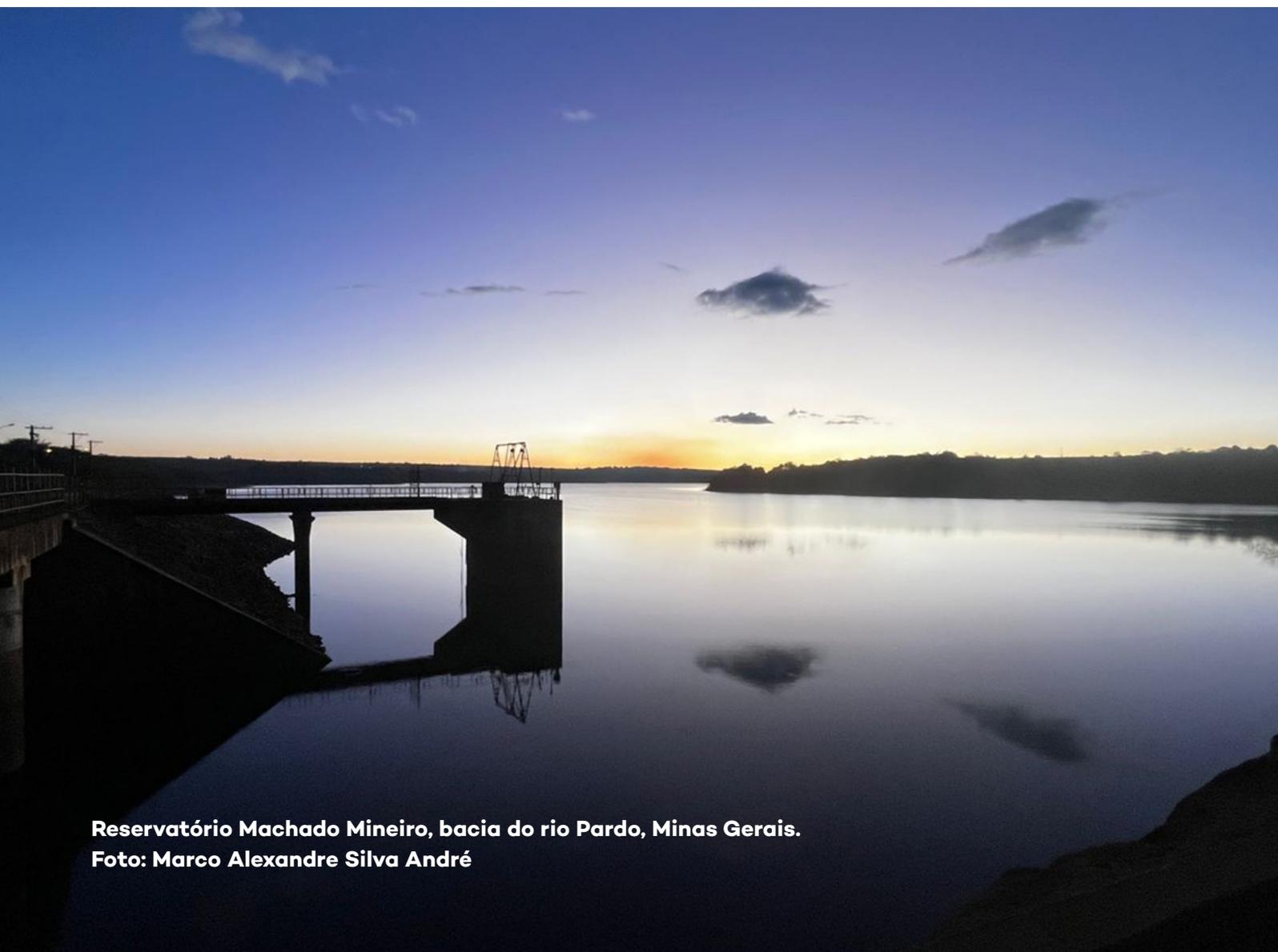
**Propriedade rural participante do Projeto Produtor de Água, bacia do rio Pipiripau, Distrito Federal.
Foto: Raylton Alves**

⁶ <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/ods6>

Cabe destacar também o Programa Produtor de Água (PPA), que utiliza há mais tempo o conceito de Programa por Serviços Ambientais, e é conduzido pela ANA. Idealizado em 2001, o PPA já apoiou cerca de 60 projetos distribuídos por 15 UFs, tendo sido repassados pela ANA, aproximadamente, 45 milhões de reais. O atual desafio da ANA é ampliar a escala de atuação do programa. Os projetos PPA da ANA estão hoje reconhecidos, oficialmente, por meio da Resolução ANA nº 181 de 2024.

Em sua atuação regulatória, a Agência define as condições de operação de sistemas hídricos com o intuito de aumentar a segurança hídrica das bacias, garantir os usos múltiplos da água e ampliar a resiliência na ocorrência de eventos hidrológicos críticos (secas e inundações).

Nesse sentido, em 2017, a ANA identificou nove grandes sistemas hídricos estratégicos para a segurança hídrica do Brasil e para a gestão de eventos hidrológicos críticos: Sistema Hídrico do São Francisco, Bacia do rio Paraíba do Sul, Sistema Hídrico do Tocantins, Bacia do rio Pardo,



**Reservatório Machado Mineiro, bacia do rio Pardo, Minas Gerais.
Foto: Marco Alexandre Silva André**

Bacia do rio Paranapanema, Sistema Cantareira, Trecho da bacia do rio Madeira (influenciado pelos reservatórios de Santo Antônio e Jirau), Hidrovia Tietê-Paraná e Bacia do rio Doce. Posteriormente, por força da edição da Lei nº 14.182, de 12 de julho de 2021, a ANA foi incumbida de incluir as bacias do rio Grande e do rio Paranaíba, perfazendo, dessa forma, um total de 11 grandes sistemas hídricos cujas regras e condições precisam considerar o cenário de constantes mudanças a longo prazo.

Atualmente, há nove sistemas com regras e condições estabelecidas, estáveis e com estratégias de implementação e monitoramento em andamento, estando pendentes as condições de operação dos sistemas do rio Grande e do rio Paranaíba, que estão na fase final de elaboração do ato regulatório, previstos para publicação no início de 2024.

As normas referentes aos Sistemas Hídricos do Tocantins e da bacia do Paranapanema receberam o selo “Regulação Padrão Ouro”, sob os aspectos da previsibilidade, qualidade regulatória, participação social, convergência regulatória e fardo regulatório, premiação organizada pelo Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio (MDIC). O grande desafio nessa seara é o estabelecimento de regras que sejam adaptáveis aos efeitos das mudanças do clima.

Ainda no seu aspecto regulatório, e no que diz respeito à adução de água bruta, a grande atuação da ANA é a regulação do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF), que é uma obra de infraestrutura hídrica, que capta água no São Francisco aduzindo-a para bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

No âmbito do PISF, cabe à ANA a concessão da outorga para retirada da água, a definição das condições gerais da prestação de serviços de adução de água bruta, a definição do Plano de Gestão Anual (PGA), a definição da tarifa a ser paga pelos estados e a auditoria da contabilidade regulatória das entidades operadoras em âmbito federal e dos estados.

A grande contribuição desse projeto é a garantia da segurança hídrica no Semiárido Brasileiro, a exemplo do que ocorreu em 2017, em que a água transposta pelo Eixo Leste tirou Campina Grande, a segunda maior cidade da Paraíba, do racionamento.

Apesar de a obra ter sido considerada concluída, tem-se, ainda, como desafios a entrada em operação comercial do PISF; a assinatura de contratos de prestação de serviços pelos operadores federal e estaduais; a efetiva viabilização econômica e financeira, inclusive para sua operação



**Eixo Norte do Projeto de Transposição do Rio São Francisco (PISF), Penaforte, Ceará.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA**

e manutenção; e a construção de adutoras adicionais para permitir que a água chegue a outras localidades.

Em sua atuação como órgão fiscalizador, destaca-se a incorporação de inovações tecnológicas, como o uso de imagens de satélite e drones, no apoio às ações de campo; e as atribuições da ANA frente às previsões da PNSB, quais sejam: coordenar o SNISB, elaborar periodicamente o Relatório de Segurança de Barragens (RSB), e fiscalizar as barragens para as quais emite outorga, exceto as destinadas à geração hidrelétrica, que são fiscalizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Desde a edição da Lei 12.334, de 2010, é possível verificar avanços significativos em relação ao cadastro, classificação, regulamentação, formação de equipes dos órgãos fiscalizadores, desenvolvimento e execução de ações de capacitação, ampliação da transparência das informações e sensibilização dos empreendedores e da sociedade em geral para a importância do tema e da necessidade de desenvolvimento de ações preventivas.

Alguns desafios ainda se fazem presentes neste tema, como: ter maior disponibilidade de recursos humanos para executar as atividades; ampliar os trabalhos de localização e cadastramento das barragens, bem como de identificação dos respectivos empreendedores; ter informações suficientes para verificação do enquadramento à PNSB e quanto Dano Potencial Associado (DPA) e quanto à Categoria de Risco (CRI); e ampliar o número de barragens com Plano de Segurança de Barragens (PSB) e seus componentes.



Barragem do Paranã, Goiás. Foto: Jonas Pertusatti

A competência mais recente da ANA de editar normas de referência para o setor de saneamento básico promoveu grandes mudanças nos processos internos da Agência, principalmente em termos de estruturação regimental e de pessoal.

O Novo Marco do Saneamento estipulou duas metas para a universalização:

- atendimento de 99% (noventa e nove por cento) da população com água potável; e
- 90% (noventa por cento) da população com coleta e tratamento de esgotos, até 31 de dezembro de 2033.

As normas de referência (NRs) serão instituídas pela ANA de forma progressiva, e a adesão a essas normas, pelas Entidades Reguladoras Infra-





nacionais (ERIs), poderá ser feita de forma gradual, a fim de preservar as expectativas e os direitos decorrentes das normas a serem substituídas e propiciar a adequada preparação das ERIs. As NRs são de adoção facultativa, mas são condição para o repasse de recursos públicos federais para o setor, cabendo à Agência divulgar a relação dos entes reguladores que aderirem às normas de referência.

Os temas a serem regulamentados pela ANA abarcam os quatro componentes de saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, e drenagem urbana e manejo de águas pluviais) e podem ser conhecidos e acompanhados por meio da Agenda Regulatória da ANA (atualmente formalizada pela Resolução ANA nº174 de 2023), divulgada em seu sítio eletrônico.

Os principais avanços da ANA nessa agenda, desde 2020, foram: a elaboração do plano de capacitação dos agentes do setor de saneamento básico; a estruturação dos processos de trabalho para uma condução coordenada dos atos regulatórios, considerando as exigências da Lei das Agências Reguladoras (Lei 13.848 de 2019); a publicação do normativo que regulamenta o processo de comprovação de adoção das NRs (Resolução ANA nº 134/2022); e a publicação de NRs⁷.

7 Acompanhe a publicação das NRs no site da ANA (www.ana.gov.br)

O grande desafio dessa dimensão é a complexidade dos aspectos técnicos e econômicos envolvidos na definição de padrões e diretrizes nacionais de regulação, que devem considerar a diversidade regional; e o grau de expectativa do setor em relação à uniformização regulatória. Posteriormente à edição da NR, os desafios serão a promoção da adesão das ERIs às NRs; e a capacitação dos atores para auxiliar na implementação da nova regulação.

1.1.3 Considerações finais

A ANA tem sido reconhecida dentro e fora do país pela excelência técnica dos seus serviços e produtos, sendo referência em diversas instâncias internacionais, pela sua expertise. Dessa forma, a Agenda Internacional da ANA possui papel estratégico quando se trata de cooperação técnica no tema Água e Saneamento e tem contribuído diretamente para a melhoria dos processos e ações técnicas da Agência, com a incorporação de tecnologias, procedimentos e metodologias, e para a construção de capacidades, que trazem não somente ganhos internos, como para o todo o SINGREH.

Reconhecendo a importância da diplomacia hídrica, a ANA tem destinado esforços para o estabelecimento de parcerias com países desenvolvidos e em desenvolvimento. No caso dos desenvolvidos, a Agência tem cooperações com países, tais como: Estados Unidos, Austrália, Espanha, Reino Unido, França e Portugal.

As parcerias com países em desenvolvimento, como aqueles localizados na América do Sul, no Caribe e que compõem a Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP), envolvem ações de capacitação, transferência de tecnologia e, em alguns casos, doação de equipamentos para monitoramento hidrometeorológico e para o acompanhamento de eventos críticos em salas de situação.

Outras parcerias a destacar são, por exemplo, com o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), a OTCA (Organização do Tratado de Cooperação Amazônica), a CODIA (Conferência de Diretores Ibero-Americanos da Água), a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e o PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento).

A ANA é ponto focal da maioria dos indicadores do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 6 – Água e Saneamento no Brasil, no âmbito da Agenda 2030, coordenada pelos Organismos do Sistema das Nações Unidas (ONU). Nesse interim, em 2019, foi lançada a primeira edição da



publicação: “ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os Indicadores”, tendo uma edição de atualização em 2022⁸, ambas disponíveis em português, inglês e espanhol. Em 2023, sob a coordenação da Assessoria Especial Internacional da ANA, houve a publicação do relatório “Aplicação no Brasil da Ferramenta de Suporte à Tomada de Decisão Relacionada ao ODS 6 (SAP-ODS)”⁹, que foi o primeiro documento no mundo a registrar a experiência com o uso dessa ferramenta. Atualmente, a ANA é Hub Regional dessa ferramenta na América Latina e Caribe.

Com diversas dimensões de atuação, corpo técnico qualificado e multidisciplinar, apesar do número reduzido de servidores, a ANA tem adotado

⁸ <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/ods6>

⁹ Acesse a publicação em:

português: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=162894

espanhol: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=162892

inglês: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=162895

como estratégia, desde a sua criação, a atuação conjunta com parceiros, seja em nível federal, estadual ou de bacia hidrográfica, ou ainda com parceiros internacionais.

Dessa forma, a ANA, analisando os avanços alcançados em sua atuação, manifesta agradecimento a todas as instituições e parceiros que caminharam e construíram juntos os bons resultados, dentre eles o IBRAM. Em relação aos desafios, a Agência compreende a complexidade do arranjo institucional para a governança das águas, e tem buscado suas diretrizes e objetivos estratégicos a partir da manutenção de um canal aberto e da construção de parcerias, tendo como foco o uso múltiplo das águas. Afinal, o objetivo é encorajador: a segurança hídrica e a universalização do saneamento básico no Brasil.



**Rio Real, divisa entre Sergipe e Bahia.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA**

1.2 Avanços institucionais – Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM

- Cláudia Franco de Salles Dias¹⁰
- Maria de Lourdes Pereira dos Santos¹¹

1.2.1 O IBRAM e os recursos hídricos

O acompanhamento e a contribuição do setor minerário no contexto da implementação da Política Nacional e de Políticas Estaduais de Recursos Hídricos foram potencializados com a criação, pelo IBRAM, do Programa Especial de Recursos Hídricos (PERH), no ano 2000. A participação em discussões e decisões construídas no âmbito da governança do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e seus equivalentes estaduais, colecionou importantes resultados e realizações. Os propósitos do PERH-IBRAM perduram, em iniciativas e ações que demonstram o reconhecimento do setor sobre a necessidade de permanente atuação, efetiva e transparente, em prol de uma mineração mais sustentável.

De acordo com descrições apresentadas nos Relatórios Anuais de Atividades do IBRAM dos últimos dez anos¹² (2013–2023), muitas iniciativas merecem destaque, sendo que algumas foram compartilhadas com parceiros institucionais. Além das realizações e dos produtos resultantes da participação ativa do setor em colegiados e fóruns de recursos hídricos, apresentados no presente capítulo, vale registrar:

- Em **22 de março de 2002** – Dia Mundial da Água – lançamento do livro “Modelo de Gestão de Recursos Hídricos: a posição do setor mineral na visão do IBRAM”;
- Em **2006**, a publicação do livro “A Gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração”, em parceria do IBRAM com a ANA (então Agência Nacional de Águas, hoje, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico);

10 Bióloga, Mestre em Recursos Hídricos (UNESP); Especialista em Reabilitação Urbana Sustentável (UNB) Gerente de Sustentabilidade – IBRAM. Email: claudia.dias@ibram.org.br

11 Engenheira de Minas e Geóloga (UFMG), Especialista em Hidrogeologia (Universidad Complutense de Madrid), Especialista em Gestão Ambiental (FUMEC), MBA Inovação e Sustentabilidade (PUC Minas); Consultora de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – IBRAM. Email: maria.santos@ibram.org.br

12 <https://ibram.org.br/relatorios-de-atividades/>

- Em **24 de outubro de 2013**, conjuntamente com a CNI (Confederação Nacional da Indústria), promoção do evento internacional: “Água – Oportunidades e Desafios para o Desenvolvimento do Brasil”. O evento derivou do “Encontro da Indústria para Sustentabilidade”, que reuniu mais de 1000 representantes do setor industrial durante a Conferência Rio+20. Foi abordada a temática “água” de maneira transversal, demonstrando-se como esse recurso é relevante para as empresas quanto à sustentabilidade de suas operações, no que tange à sua demanda ao longo da cadeia produtiva. O IBRAM fez parte do Comitê Técnico que elaborou o Programa do evento e o documento conceitual da Indústria, denominado “Governança dos Recursos Hídricos e o Setor Industrial”. Também elaborou um documento que compôs os Cadernos Setoriais, sobre relação entre recursos hídricos e a mineração, denominado “Gestão Sistemática e Integrada de Recursos Hídricos no Setor de Mineração: Uma nova abordagem”;
- Em **14 de agosto de 2014**, em Brasília (DF), em parceria com a CNI e o MMA (Ministério do Meio Ambiente), o IBRAM promoveu a “Oficina de Racionalização e Reúso de Água no Setor Industrial”, no âmbito da Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia do CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos). Essa oficina foi uma oportunidade para a indústria, visto se pautar na possibilidade de o setor contribuir para o processo de construção de uma normativa de interesse para todos, como incentivo à prática de reúso nos diversos segmentos do setor industrial;
- Em **09 de setembro de 2019** o IBRAM lançou publicamente sua “Carta Compromisso do IBRAM Perante a Sociedade”, pela qual assume metas para a condução da mineração brasileira a novos patamares de sustentabilidade. Como descrito no site do Instituto¹³, trata-se de “uma declaração pública de novos propósitos voluntários para a indústria minerária, com metas mensuráveis, verificáveis, reportáveis, críveis, alcançáveis e implementáveis, relacionados a 12 áreas:
 - ◆ Segurança operacional;
 - ◆ Barragens e estruturas de disposição de rejeitos;
 - ◆ Saúde e segurança ocupacional;
 - ◆ Mitigação de impactos ambientais;
 - ◆ Desenvolvimento local e futuro dos territórios;
 - ◆ Relacionamento com comunidades;
 - ◆ Comunicação & reputação;
 - ◆ Diversidade & inclusão;
 - ◆ Inovação;
 - ◆ Água;
 - ◆ Energia; e
 - ◆ Gestão de resíduos.

13 <https://ibram.org.br/esg-da-mineracao/>

No tocante à “Água”, foi registrado:

“O IBRAM se compromete a fomentar e ampliar o uso consciente e racional da água nos processos, incentivando ações que visem à preservação dos mananciais, sejam subterrâneos ou superficiais, assim como iniciativas que ampliem a disponibilidade hídrica dos rios e a qualidade da água”, pelas seguintes ações.

1. Estabelecer metodologia uniforme para definir indicadores de performance do uso e do consumo de água, definindo metas de redução gradativas, publicamente explicitadas;
 2. Tornar públicas e disponíveis as informações de uso, consumo e qualidade das águas e efluentes na indústria da mineração;
 3. Participar efetivamente e apoiar os comitês de bacia hidrográfica, ampliando-se o escopo de atuação para incorporar estudos associados a mudanças climáticas e propor ações estratégicas para o setor e a sociedade em geral.”
- Ainda em **2019**, o IBRAM adotou o TSM - *Towards Sustainable Mining*, estreitando relações com a MAC - *Mining Association of Canada* (instituição análoga ao IBRAM e reconhecida pela excelência na formulação de trabalhos técnicos de ponta relacionados às boas práticas no setor mineral), para adaptar, ao Brasil, metodologias e programas relacionados à segurança e sustentabilidade. O TSM orienta e apoia empresas de mineração no gerenciamento de riscos ambientais e sociais. O IBRAM traduziu todos os protocolos para o português e contratou consultoria técnica e jurídica para adequá-los à realidade brasileira, com o apoio das contribuições de partes interessadas, assim como foi feito em outros países.

Nas palavras do atual Presidente do IBRAM, Raul Jungmann, publicadas no documento “Rumo à Mineração Sustentável – protocolo de Gestão Sustentável da Água”¹⁴:

“o TSM, estabelecido pela MAC em 2004, é um programa que permite às empresas de mineração alcançarem a melhoria contínua de suas operações em conformidade com os melhores parâmetros de referência operacionais. Seu principal objetivo é possibilitar que as empresas da indústria mineral atendam às necessidades da sociedade no que diz respeito às demandas por produtos da cadeia do setor, de maneira mais responsável em termos sociais, ambientais e econômicos. O ponto central desta parceria entre IBRAM e MAC se baseia na disseminação

14 <https://ibram.org.br/tsm/> TSM_IBRAM_Protocolo_Gest_Sust_Agua-v11_2018-2 (1)

da autorregulação do setor. E principalmente na construção de relações de confiança e de credibilidade pela sociedade, a partir de um conjunto de indicadores que visam impulsionar o desempenho e garantir que os principais riscos de mineração sejam gerenciados de forma responsável”.

- No ano de **2021**, em paralelo ao bom desempenho em números, o setor mineral agiu para mostrar à sociedade o andamento de suas políticas e ações, rumo à transformação de seus processos para se tornar mais sustentável, responsável e seguro. Assim, a “Agenda ESG da Mineração do Brasil” foi lançada durante a EXPOSIBRAM 2021. Naquele momento, o IBRAM e as mineradoras associadas avançaram na discussão e formação das metas relacionadas à “Carta Compromisso do IBRAM Perante a Sociedade”, lançada em setembro de 2019, como uma das respostas mais sólidas da indústria da mineração às demandas da sociedade por uma mineração mais sustentável. Com a parceria da consultoria Falconi, o conteúdo da Carta Compromisso resultou em um rico conjunto de propostas, ousadas em muitos pontos, inéditas, que passaram a ser compreendidas como a Agenda ESG da Mineração do Brasil.
- Em **2021**, o GT10 – Água, formatado a partir da “Carta Compromisso” e alicerçado pela “Agenda ESG da Mineração do Brasil”, elaborou um glossário de terminologias para uso e gestão de água na mineração, com o intuito de uniformizar os termos técnicos a serem verificados pelo setor. Além disso, estabeleceu uma série de indicadores de performance do uso e do consumo de água, amplamente debatidos entre os membros do GT. Os resultados do trabalho do GT10 – Água, formado por profissionais de 37 empresas mineradoras, dentre as associadas ao IBRAM, será tratada no presente livro, em seção específica (Seção 2.5).
- Em **2022**, de acordo com o mais recente Relatório Anual de Atividades do IBRAM¹⁵ — janeiro a dezembro de 2022) “o GT - Água seguiu com o plano de ação estabelecido em 2021 para seus compromissos e metas de redução, eficiência e transparência. Foi dada especial atenção ao refinamento da meta estabelecida para o Compromisso 1 - de reduzir em 10% o uso de água na mineração até 2030.
- Em **novembro de 2022**, o IBRAM publicou o chamado “Livro Verde”, com o objetivo de fornecer dados, apresentar contextos, reconhecer boas práticas e incentivar o debate sobre o desempenho da gestão ambiental do setor mineral no Brasil. No capítulo sobre “Desempenho ambiental da mineração do Brasil - Recursos Hídricos”, vale destacar o seguinte texto

“ Do ponto de vista do impacto ambiental da atividade mineradora, os principais riscos são o aumento da turbidez e variação da quali-

15 <https://ibram.org.br/relatorios-de-atividades/> pag. 145

dade da água, alteração do seu pH - a água pode ficar mais ácida -, contaminação do solo e da água com metais pesados, redução do oxigênio dissolvido nos ecossistemas aquáticos, assoreamento de rios, poluição do ar, extinção da flora e fauna local. Segundo o relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos 2019, produzido pela Agência Nacional de Águas (ANA), o setor de mineração é um baixo consumidor da água (10,1 m³/s) e apresenta volume de retorno de 24,4 m³/s. E do volume total de água retirada no Brasil (2.048 m³/s), a mineração representou 1,7% desta e efetivamente consumiu 0,9% de água.”

1.2.2 A atuação do setor minerário na governança do sistema de gerenciamento de recursos hídricos

Desde o início dos anos 2000, a mineração, representada pelo IBRAM ou diretamente pelas empresas do setor, já atuava de maneira efetiva no âmbito do sistema de governança de recursos hídricos, notadamente no Conselho Nacional de Recursos Hídricos, em Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos e em Comitês de Bacias Hidrográficas, em vários estados do Brasil.

O entendimento para essa atuação se orientava, tal como ainda hoje, por fundamentos basilares da Lei 9.433/1997¹⁶, tais como:

“a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico.”

“a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas.”

“a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.”

No Conselho Nacional de Recursos Hídricos, responsável pela formulação da Política Nacional de Recursos Hídricos (nos termos da Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 2º da Lei n.º 9.984, de 17 de julho de 2000), a indústria da mineração, em defesa dos seus interesses, envolveu-se de forma ativa e colaborativa no cumprimento das competências desse colegiado, quais sejam:

- i. analisar propostas de alteração da legislação pertinente a recursos hídricos;

16 Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n.º 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

- ii. estabelecer diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos;
- iii. promover a articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regionais, estaduais e dos setores usuários; iii) arbitrar conflitos sobre recursos hídricos;
- iv. deliberar sobre os projetos de aproveitamento de recursos hídricos cujas repercussões extrapolem o âmbito dos estados em que serão implantados;
- v. aprovar propostas de instituição de comitês de bacia hidrográfica; vi) estabelecer critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos e para a cobrança por seu uso; e
- vi. aprovar o Plano Nacional de Recursos Hídricos e acompanhar sua execução.

Nesse contexto, desde sempre a forte presença do setor minerário, em discussões e debates, contribuiu para o alcance de resultados significativos no estabelecimento da política de recursos hídricos. As normas abaixo, de interesse direto para o uso da água na mineração, elaboradas e publicadas a partir de reuniões do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos e suas Câmaras Técnicas, são exemplos de um trabalho conjunto e positivo, na gestão compartilhada e participativa preconizada pela “Lei das Águas”:

- **Resolução nº29/2002** - Define diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais.
- **Resolução nº37/2004** - Estabelece diretrizes para a outorga de recursos hídricos para a implantação de barragens em corpos de água de domínio dos Estados, do Distrito Federal ou da União.
- **Resolução nº44/2004** - Define os valores e os critérios de cobrança pelo uso de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, aplicáveis aos usuários do setor mineração de areia no leito dos rios.
- **Resolução nº54/2005** - Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água.

- **Resolução nº55/2005** - Estabelece diretrizes para elaboração do Plano de Utilização da Água na Mineração-PUA, conforme previsto na Resolução CNRH no 29, de 11 de dezembro de 2002.
- **Resolução nº92/2008** - Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro.
- **Resolução nº107/2010** - Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo, Quantitativo de Águas Subterrâneas.
- **Resolução nº143/2012** - Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.
- **Resolução nº144/2012** - Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.
- **Resolução nº223/2020** - Altera a Resolução CNRH n. 144, de 10 de julho de 2012, que estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, e dá outras providências.

Conforme comentado acima, e de acordo com registro no site do IBRAM¹⁷,

“a Agenda de Recursos Hídricos é uma iniciativa desenvolvida pelo IBRAM desde o ano 2000, e representa um marco nas questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável da mineração, especialmente no acompanhamento da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, pela participação ativa do IBRAM nos fóruns do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Por meio desta iniciativa, o setor de mineração está representado nos principais Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) nos âmbitos federal e estadual, onde a atividade se destaca, além das instâncias de construção e deliberação de políticas

¹⁷ <https://ibram.org.br/programas-comites-e-grupos-de-trabalho/gt-de-recursos-hidricos/>

públicas relativas ao uso das águas, como o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH).”

Atualmente o IBRAM participa como membro nas seguintes instâncias do SINGREH, sem prejuízo da representação direta de empresas do setor, em colegiados pertinentes aos estados e bacias hidrográficas onde atuam:

- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
- Câmara Técnica de Segurança de Barragens – CTSB/ CNRH;
- Câmara Técnica de Educação, Ciência e Tecnologia – CECT/CNRH;
- CBH São Francisco (âmbito Federal);
- CERH-MG – Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais;
- CBH do Rio Paracatu (MG);
- CBH do Rio Paraopeba (MG);
- CBH do Rio das Velhas (MG);
- CBH do Rio Araguari (MG); e
- CBH do Lago Guaíba (RS).

1.2.3 Avanço institucional - inovação no setor da mineração abordando gestão de água

Reconhecendo a importância estratégica da inovação no ambiente da mineração, o IBRAM apoia institucionalmente o Mining Hub, assim definido¹⁸:

- Uma iniciativa de Inovação Aberta voltada a todos os integrantes da cadeia de mineração;
- Agente de mudança, sendo um contraponto do setor, transformando a cultura e contribuindo para reputação;
- Conexão, colaboração e empoderamento da inovação no setor;
- Influenciadores do futuro da cadeia e do setor, buscando alternativas de forma integrada; e
- Ambiente de trabalho neutro e colaborativo com o propósito de troca de conhecimento.

Com a associação de 22 empresas mineradoras, 18 fornecedores da cadeia de mineração e 17 startups contratadas, o Mining Hub foi criado em 2019 e tem, dentre seus Programas, o chamado “M-Start”, cujo foco é “desen-

18 <https://www.mininghub.com.br/pb/quem-somos>

volver soluções para os desafios comuns selecionados pelas empresas associadas ao *Mining Hub* através de provas de conceito (POC ¹⁹).

A Inovação é tema do Grupo de Trabalho – GT-9, também criado no âmbito da Agenda ESG da Mineração, para o qual foram definidas duas ações:

- “1. incentivar o aumento de investimento nos projetos de inovação e tecnologia nas mineradoras, focando nos temas prioritários como segurança, água, energia, rejeitos/resíduos e desenvolvimento social;
2. Expandir a busca de soluções colaborativas via inovação aberta e cooperação entre os vários agentes do ecossistema por meio do Mining Hub, ambiente de inovação aberta do setor mineral.”

No Programa M-Start, acima referido, foram priorizados 117 desafios, sendo que 7 deles estão relacionados à gestão da água. Assim, mineradoras, em parcerias com startups, buscam soluções inovadoras para seus problemas.

Na tabela abaixo são apresentados os desafios priorizados por empresas, e a descrição de cada desafio pode ser encontrada em <https://www.mhnumbers.com.br/mininghub/#/>

Tabela 1: Desafios priorizados por empresas.

Desafios priorizados por empresas, e a descrição de cada desafio	Mineradora madrinha
Caracterização dos fluxos de água e rejeito em reservatórios de uso múltiplo	Anglo American
Captação e gestão de água de chuva para sustentabilidade ambiental	AngloGold Ashanti
Mapeamento e redução no consumo de água	Aura Minerals
Tratamento da água para retorno ao meio ambiente	Lundin Mining/MRN
Monitoramento Qualitativo e Quantitativo da Água em Tempo Real	Vale
Redução de poeira nas vias com menor consumo de água e baixo custo	RHI Magnesita
Soluções para monitoramento de dados sobre o uso da água	Ferrous

¹⁹ PoC- uma prática utilizada para testar a viabilidade técnica de uma solução antes da realização de um investimento.

1.3 Avanços institucionais – Agência Nacional de Mineração – ANM

- Mauro Henrique Moreira Sousa²⁰

A mais nova das agências reguladoras no âmbito federal, a Agência Nacional de Mineração (ANM) é responsável pela gestão dos recursos minerais, bem como pela regulação, outorga e fiscalização das atividades minerárias, essenciais para contribuir com o desenvolvimento econômico e social do país.

Entre as atividades reguladas e fiscalizadas pela ANM está a pesquisa mineral, a lavra de jazidas minerais e de água mineral, a coleta de fósseis para fins científicos e educacionais, além da emissão do Certificado Kimberley na exploração de diamantes.

Por ser uma agência reguladora, a ANM possui natureza independente, autônoma, com poderes normativos complementares à legislação e outras prerrogativas previstas em lei. Foi criada pela Lei n.º 13.575, em 26 de dezembro de 2017, para substituir o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e, a partir daí, assumiu novas competências.

Para manter sua independência e autonomia técnica, administrativa e financeira, precisa permanecer equidistante do governo e dos regulados. Com isso, garante o adequado cumprimento de sua missão institucional de promover o acesso ao uso racional dos recursos minerais, observando o interesse nacional, a utilidade pública e a sustentabilidade.

A ANM possui sede no Distrito Federal e atua em todo o território nacional por meio de gerências regionais e escritórios. Possui como valores institucionais a autonomia, a cooperação, a excelência técnica, a transparência, a inovação e a integridade.

Em relação à gestão de recursos hídricos, a ANM considera, em todas as etapas do fluxo do processo mineral – desde o pedido de concessão até o fechamento da mina e uso futuro da área, a importância do uso racional de água. Para tanto, atua dentro de uma visão de governança integrada desse recurso, e trabalha em parceria com outros órgãos públicos para promover a racionalidade no seu aproveitamento.

20 Diretor Geral da Agência Nacional de Mineração/ANM. Email: ascom@anm.gov.br

A promoção da ecoeficiência e do reúso da água é uma boa prática que deve ser cada vez mais estimulada, além de atuação em eventuais conflitos pelo consumo desse recurso. As novas tecnologias de filtragem de rejeitos que reduzem e eliminam o uso de barragens promovem essa reutilização da água, reduzindo os impactos ambientais e os riscos. A recente regulação do Plano de Fechamento de Mina também é uma importante medida para que os recursos hídricos sejam racionalmente aproveitados.

A compreensão da importância do arcabouço regulatório no que tange à gestão dos recursos hídricos é fundamental para maximizar seus benefícios e possibilitar seus usos múltiplos (mineração, agricultura, indústrias, residencial, etc) de forma equilibrada e sustentável. A ANM tem consciência de sua importância nesse contexto, promovendo boas práticas de uso racional do recurso, tratamento das informações setoriais e de barragens de mineração, avaliação dos planos de aproveitamento econômicos e fiscalização responsiva.

Outro importante segmento regulado e fiscalizado pela ANM é o de águas minerais que, sem dúvida, são e serão um recurso mineral cada vez mais estratégico, por melhorar a qualidade de vida e a saúde das pessoas.

A necessidade de conhecer, preservar e aproveitar tal riqueza de forma tecnicamente sustentável já era vislumbrado com a promulgação do Código de Água Mineral (Decreto-Lei N° 7.841 de 8 de agosto de 1945), que vê as águas minerais como:

“aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confrimam uma ação medicamentosa” (art. 1º do Código de Águas Minerais).

Nas suas atribuições, a ANM atualiza o regramento mineral em consonância com o Código de Águas Minerais e prioriza projetos do segmento em sua agenda regulatória, considerando as contribuições advindas dos instrumentos de consulta pública. Assim, aprimora a gestão, a regulação e a fiscalização das atividades para o aproveitamento racional das águas minerais e potáveis de mesa.

Atualmente, a ANM enfrenta o desafio de implementar sua estruturação, já que, entre outras dificuldades, possui defasagem de pessoal e diferença salarial na comparação com as demais agências reguladoras. A agência mantém esforços para cumprir sua missão institucional com excelência e está comprometida com o desenvolvimento do setor mineral e a sustentabilidade, maximizando os benefícios para a sociedade. Dessa forma, a gestão hídrica é estratégica não só para o crescimento econômico, mas, principalmente, para a manutenção da vida com qualidade.



Vale Encantado, Parque Nacional do Caparaó, Minas Gerais.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

2

O USO DA ÁGUA NA MINERAÇÃO E OS PRINCIPAIS AVANÇOS LEGAIS E TECNOLÓGICOS



2.1 Água nos processos de lavra e beneficiamento mineral

- Edmar Eufrásio²¹
- Leonardo S. Oliveira²²
- Tereza C. F. C. M. Filpi²³
- Thaiza C. C. Bissacot²⁴

2.1.1 Introdução

Ao longo dos últimos anos muitas instituições vêm trabalhando para aprimorar conceitos, vincular estratégias de desdobramentos dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e estabelecer metas para a evolução da gestão do uso da água no segmento. O *International Council on Mining and Metals* (ICMM) traz como princípio a necessidade de implementar práticas de gestão da água que proporcionem uma gestão eficaz e eficiente da água nas operações, e a colaboração com as partes interessadas em nível da bacia hidrográfica para alcançar uma utilização responsável e sustentável da água.

Dentro desse contexto e dando seguimento à publicação de 2006 do livro “A Gestão de Recursos Hídricos e a Mineração”, que trouxe em seu Capítulo 4 uma visão geral dos usos da água nos processos de lavra e de beneficiamento, a presente seção tem por objetivo atualizar a visão desses usos, considerando os avanços tecnológicos ocorridos desde então.

2.1.2 Usos da água e avanços tecnológicos

Segundo dados da ANA (2021), o total dos usos setoriais de água no Brasil no ano 2020 foi de 1.947,55 m³/s, sendo 2% desse total a parcela correspondente ao setor da mineração (SOARES, 2023). Desses 2%, a Figura 3 apresenta a distribuição da demanda por grupo de mineração.

21 Hidrogeólogo da Nexa Recursos Minerais

22 Engenheiro Químico com Especialização em Engenharia de Barragens. Engenheiro de Processos da Alcoa Juruti.

23 Doutoranda em Hidrogeologia pela UFPR. Hidrogeóloga na Nexa Recursos Minerais

24 Doutora em saneamento, meio ambiente recursos hídricos. Diretora de Meio Ambiente da Alcoa no Brasil

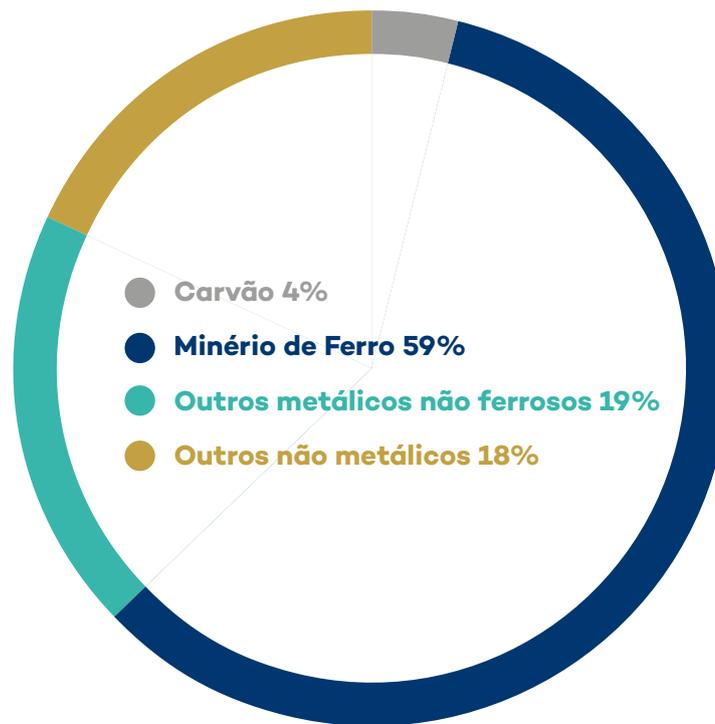


Figura 3: Demanda de água (%) por grupo da mineração. Fonte: ANA.

Se comparado ao todo, 2% é um percentual relativamente pequeno, porém passa a ser relevante quando consideramos que a mineração ocorre por características locais intrínsecas (disponibilidade de recursos e reservas minerais). Muitas unidades podem estar localizadas em áreas de risco hídrico moderado a alto, onde a retirada de água doce ou a descarga de efluentes podem incrementar o estresse hídrico e criar uma relação de conflito com as comunidades locais (Klanh Le *et al.*, 2020),

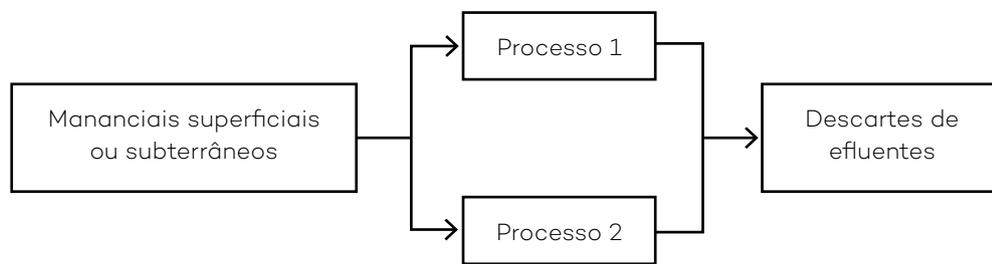
Sendo assim, a busca constante por inovação e tecnologias que aprimorem o uso da água, o reúso, a recirculação e a sua gestão, se coloca como essencial para a manutenção dessas operações.

As principais atividades que utilizam ou impactam o manejo de água na mineração são: processo de lavra (desmonte hidráulico), drenagem de mina, rebaixamento para fins de mineração, umectação de pátios de estocagem e controle de poeira em vias de circulação, lavagem de equipamentos, beneficiamento e lavagem de minério, processos de flotação e concentração, obras, disposição de rejeitos e controle/tratamento dos efluentes gerados nas etapas anteriores descritas e, em alguns casos, transporte de minérios.

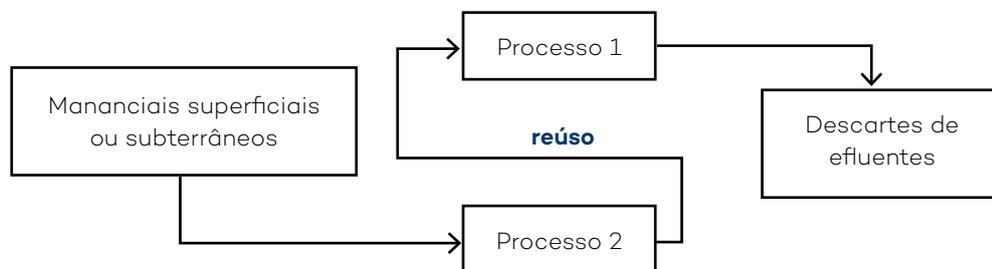
Como inovações gerais, associadas às atividades listadas, pode-se mencionar a recirculação de água dos circuitos de beneficiamento, flotação e concentração dentro do próprio processo (circuito fechado), reúso de água/efluentes das estruturas de disposição hidráulica de rejeito, reúso de efluentes sanitários tratados para usos menos nobres, como aspersão de vias, e manejo da água de rebaixamento para possibilitar a recarga em superfície e reduzir a demanda por novas captações.

A Figura 4 traz uma visão geral do manejo de água nessas operações.

a. Sem reúso ou recirculação



b. Com reúso



c. Com recirculação

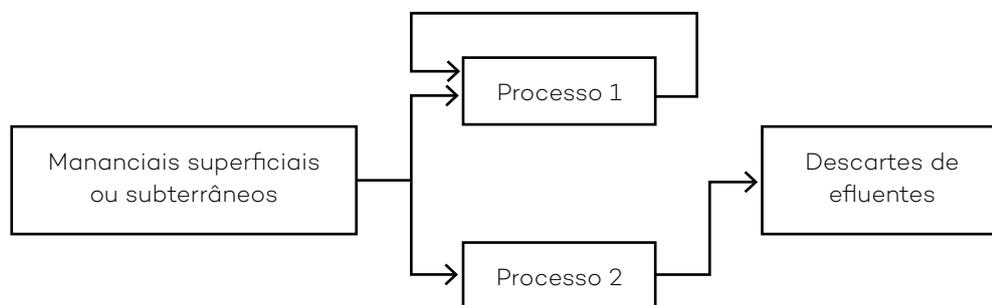


Figura 4: Desenho esquemático do uso, reúso e recirculação de água. Fonte: Soares (2023).

Uma temática que vem ganhando espaço nas discussões atuais está associada à circularidade de efluentes entre diferentes empreendimentos, com o reúso de efluentes oriundos de outras indústrias e do tratamento de efluentes municipais nas operações de mineração alocadas em regiões próximas, já presente em outros países como Chile, Peru e Austrália. Embora ainda bastante incipientes no Brasil, exemplos de sucesso que podem ser mencionados:

- i. mineração Cerro Verde do grupo Freeport-McMoRan Inc, localizada no Chile (deserto do Atacama) e que recircula os efluentes sanitários do sistema de tratamento La Enlozada (CERRO VERDE, 2020) para a mina de cobre;
- ii. Anglo American na operação de Mpumalanga na África do Sul, que implantou uma estação de tratamento dos seus efluentes capaz de alcançar os limites de potabilidade, abastecendo dessa forma 12% da água demandada pelo município que está localizado em área de escassez (ANGLO AMERICAN, 2017);
- iii. reúso de efluentes sanitários do sistema local de tratamento nas operações da refinaria de Pinjarra, na Austrália, e de uma cervejaria nas operações da unidade de São Luis da Alcoa, no Brasil (ALCOA, 2022).

Em países com regiões áridas, estresse hídrico e complexidade social tem-se também exemplos de sucesso com a utilização da água do mar dessalinizada, para uso no processo de mineração e operação em circuito fechamento, com descarte zero, alcançando índices de recirculação em torno de 90%, como é o caso da Mina de Cerro Lindo, do grupo Nexa Resources, no Peru (NEXA, 2022).

■ 2.1.3 Processo de lavra

No que tange ao processo de lavra, a gestão do uso da água envolve aspectos relacionados à sua captação e ao seu manejo, incluindo controle de drenagem pluvial de mina para evitar impactos nos recursos hídricos subterrâneos e superficiais de entorno (item 2.1.4) e quando há necessidade de rebaixamento para fins de mineração (item 2.1.5).

Há também demanda de gestão para o processo quando ocorre desmonte hidráulico, e para o controle de poeira nas áreas operacionais e vias de circulação (Figura 5).

Quanto ao desmonte hidráulico e ao controle de poeira, tem-se observado avanços no sentido de uso de fluxos de recirculação e mecanismos de automação para uso eficiente do recurso (gerenciamento remoto inteligente).



Figura 5: Exemplos de uso de aspersores *on line* com uso potencial de água recirculada.

Para controle de poeira avançou-se muito no desenvolvimento de polímeros e estabilização biológica, a exemplo do uso de tapetes verdes que pode, inclusive, consorciar com o uso de rejeitos gerados no processo de mineração.

2.1.4 Open Pit

Na operação de minas a céu aberto, a gestão eficiente do manejo de água é peça fundamental para assegurar a proteção dos recursos hídricos de entorno.

Um controle com ênfase na eficiência da drenagem pluvial, visando proteção de nascentes e encostas (a exemplo das bordas de platôs) é peça fundamental para uma gestão segura da operação e para prevenir eventos com impacto ambiental.

Conhecimento sobre a mineralogia local e domínio sobre a drenagem ácida e/ou alcalina de mina é também essencial para se definir estratégia de controle e tratamento de água dessas áreas durante operação, fechamento e pós fechamento.

Nesse sentido, mapeamentos de *baseline*, que incluem qualidade e quantidade de água, devem fazer parte do projeto de desenvolvimento da mina e seguir como estratégia de monitoramento ao longo da operação, incluindo sistematização de equipamentos para obtenção de dados em tempo real (monitoramentos *on line*) e análise dados, além de visões preditivas que apoiem a revisão constante de controles, frente aos impactos decorrentes de mudanças climáticas. (Figura 6)



Figura 6: Exemplos de sonda multi parâmetros para monitoramento *on line*.

■ 2.1.5 Mina subterrânea

Quando falamos sobre água e mineração em ambiente subterrâneo, há quase sempre a necessidade do rebaixamento do nível de água para que seja possível o desenvolvimento da mina²⁵, a manutenção da segurança operacional e o controle da estabilidade de taludes.

Porém, independentemente do método escolhido, é fundamental para o avanço da mina o correto acompanhamento do nível da água em toda sua extensão e profundidade. A necessidade de um monitoramento eficaz do nível de água, junto com a exploração mineral em regiões hidrogeologicamente mais complexas, e com as exigências da sociedade para uma gestão hídrica mais segura e eficiente, tornou necessária a criação de métodos capazes de fornecer informações cada vez mais precisas e robustas (MEIRELES, 2020), trazendo importantes avanços nos últimos 15 anos. Dentre eles podemos enfatizar aqueles relacionados aos monitoramentos e ao modelamento hidrogeológico.

Em termos de monitoramento hidrogeológico, houve avanços consideráveis na quantidade e qualidade dos sensores disponíveis no mercado para medição das variáveis hidrogeológicas. Sensores de pressão, utilizados na leitura do nível de água subterrânea ou superficial, com cabos ventilados ou não ventilados acoplados a sistemas de telemetria tornaram-se mais disponíveis, com sistemas de comunicação mais confiáveis e maior durabilidade.

Os sistemas de telemetria também evoluíram consideravelmente, migrando de sistemas locais baseados em sinais de rádio para sistemas baseados em tecnologia celular, sinal satélite ou a combinação de ambos, e com fontes de alimentação solar mais eficientes. Os sistemas telemétricos passaram a ser aplicados ao monitoramento de todas as variáveis do ciclo hidrológico, incluindo precipitação, nível de água subterrânea, fluxo superficial, qualidade de água etc. (Figura 7).

O incremento na densidade de dados confiáveis disponíveis, junto a um sistema mais robusto de gestão e de interpretação de dados, permite um melhor entendimento hidrogeológico e melhor gestão da atividade de rebaixamento.

25 Sobre “rebaixamento de nível d’água”, ver neste livro a Seção 24 – Hidrogeologia e Mineração



Figura 7: Exemplo de piezômetro com sistema de telemetria, com alimentação solar e comunicação por sinal satélite e celular.

Com o incremento e evolução dos sensores de níveis temos um aumento considerável na quantidade de dados que são gerados para o monitoramento do rebaixamento dos níveis de água, dentro e fora da mina, tornando essencial a evolução de *softwares* que permitam uma gestão mais intuitiva e rápida dos dados.

Atualmente o setor minerário pode contar com sistemas de coleta, armazenamento e gestão de dados hidrogeológicos baseados em banco de dados em nuvem, que garantem maior segurança, além de facilidade no acesso desses dados pela equipe.

Esses sistemas geralmente podem ser personalizados conforme as necessidades e particularidades operacionais de cada empresa, com interfaces tanto baseadas em sistemas web, quanto com *softwares* dedicados, permitindo a análise de diferentes tipos de dados, não apenas telemétricos, como também hidroquímicos, geofísicos, geológicos e estruturais (Figura 8).

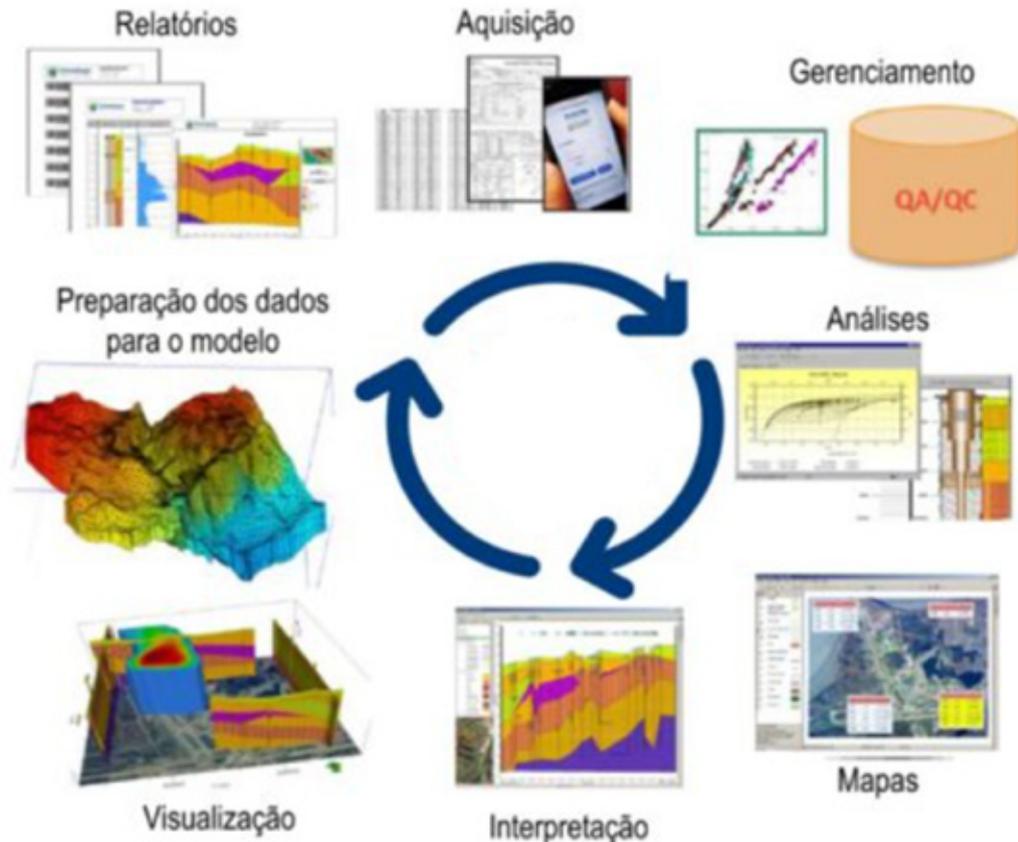


Figura 8: Desenho esquemático dos tipos de dados possíveis de se adicionar a banco de dados de *softwares* que irão auxiliar na gestão hídrica dentro da mineração (WATERLOO, 2023).

A interface atualmente abrange uma quantidade maior de dispositivos, inclusive com acesso para *upload*, consulta ou *download* dos dados de monitoramento em dispositivos móveis como *tablets* e celulares. Sistemas automáticos de envio de mensagens ao público-alvo com avisos de eventuais desvios também se tornaram possíveis, o que garante maior capacidade de reação por parte da equipe envolvida. Outras ferramentas de colaboração são possíveis, e o uso de inteligência artificial se torna cada dia mais comum. Além disso, com o aumento da capacidade de processamento, é possível a realização de análises espaciais e visualizações tridimensionais com maior facilidade e rapidez, o que aumenta o nível de entendimento do arcabouço hidrogeológico e auxilia na gestão hídrica dentro das minerações.

Os avanços no monitoramento hidrogeológico dos últimos 15 anos repercutem diretamente na qualidade e assertividade dos modelos geológicos

e hidrogeológicos, sejam eles conceituais ou numéricos, o que nos leva a melhores interpretações dos comportamentos presente e futuro dos aquíferos afetados pelos desenvolvimentos mineiros. Um exemplo deste avanço na modelagem geológica é o uso de modelagem implícita, que trouxe uma forma rápida e automatizada de gerar superfícies como as falhas, baseando-se diretamente em dados geológicos, acelerando o processo de modelamento e facilitando a interpretação (SEEQVENT, 2023). O modelo implícito de um sólido é dado por uma função modelada a partir da interpolação espacial dos dados amostrados e a superfície do sólido é extraída a partir da triangulação dessa função (COWAN *et al.*, 2003). Dessa forma, a modelagem implícita é capaz de inferir uma representação da realidade nos pontos em que não há dados disponíveis (CALCAGNO *et al.*, 2006). Esse modelo pode ser utilizado como um modelo inicial e em seguida ser detalhado ao longo do desenvolvimento da mina e da melhora da malha de sondagem, por exemplo.

A evolução e a melhora dos modelos geológicos permitiram o avanço das modelagens numéricas hidrogeológicas, com o uso em modelos numéricos de malhas estruturadas ou não estruturadas. Os modelos de malhas não estruturadas são utilizados quando se tem conhecimento detalhado do local do modelo, porém em casos de geometrias complexas ou mesmo pouca informação em certos pontos, o modelo perde assertividade. Já os modelos de malhas estruturadas são capazes de gerar geometrias complexas devido à não necessidade de seguir linhas e colunas (Figura 9). No entanto nem sempre é fácil a compreensão da conectividade da malha, o que torna esses modelos mais pesados (ANDERSON *et al.*, 2015).

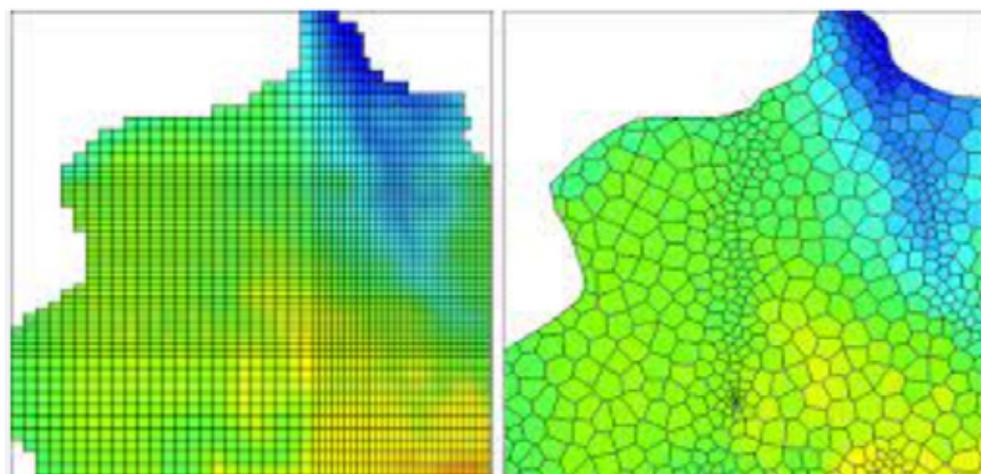


Figura 9: Exemplo de modelo hidrogeológico com malha estruturada à esquerda e não estruturada à direita.

2.1.6 Processo de beneficiamento e gestão de armazenamento de água de chuva

Nos processos de beneficiamento e de concentração, em que pesem as diferenças associadas a cada tipologia mineral, é medida essencial trabalhar com rotas que demandem menor uso de água e que possibilitem a sua recirculação, para reduzir a demanda por água nova. Nesse contexto, muitas operações têm buscado novas tecnologias para beneficiamento a seco, de base natural ou desaguamento de rejeitos.

Uma das unidades da CBA – Companhia Brasileira de Alumínio, localizada em Mirai – MG, vem testando uma usina semimóvel de beneficiamento (Figura 10), que pode ser levada diretamente para a frente de lavra. Nela, a bauxita é separada do solo argiloso, que após receber insumos orgânicos e outros aditivos, se torna um solo rico em nutrientes e retorna para o local de onde foi extraído originalmente, sem uso de água no processo de lavagem da bauxita (CBA, 2022).

A tecnologia possibilitará a eliminação da geração de rejeito, atualmente disposto em barragens, reduzindo também os riscos associados a estas operações.



Figura 10: Unidade de beneficiamento móvel a seco (base natural).
Fonte: CBA (2022).

Em áreas com elevados índices de evaporação, observam-se práticas para redução da exposição das superfícies de reservatórios de armazenamento de água (referências ao redor do mundo e em diferentes segmentos também), como o uso consorciado de painéis solares para a geração de energia renovável, conforme exemplo da Figura 11.

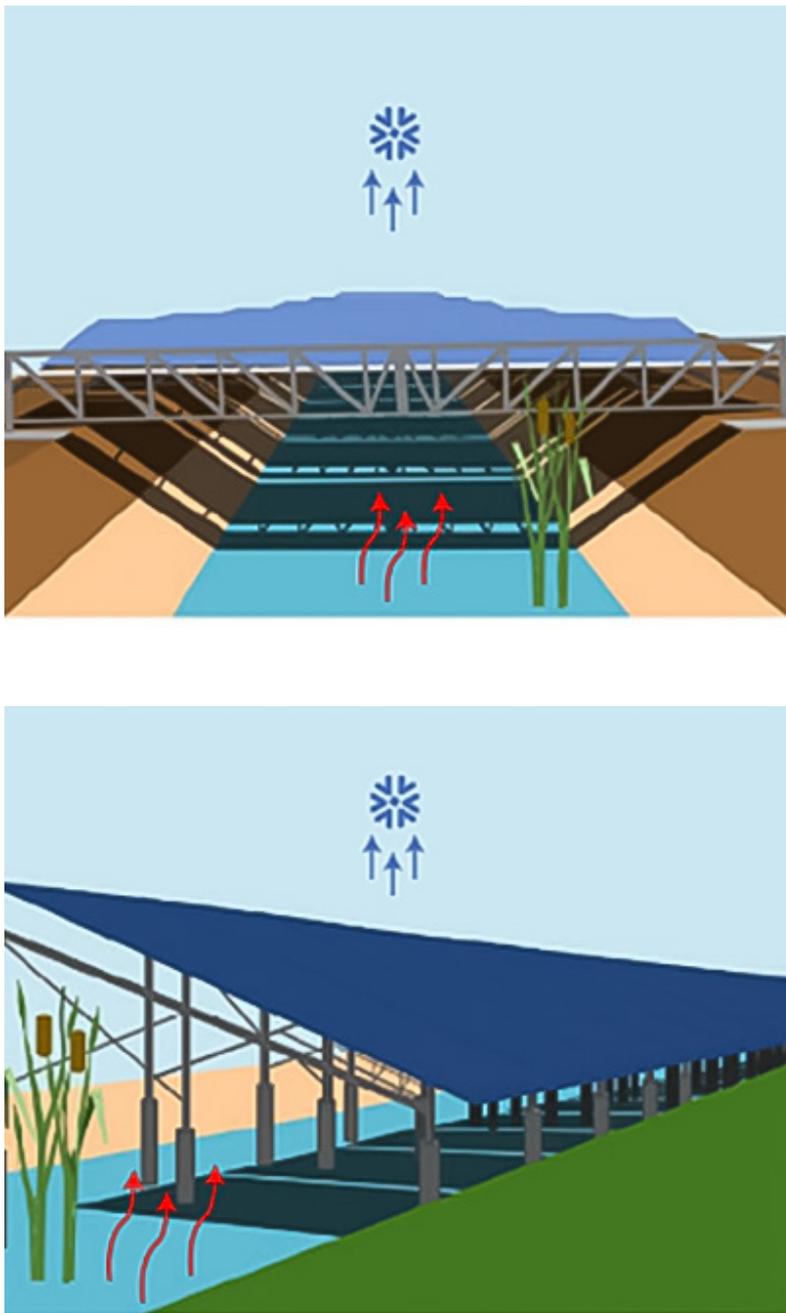


Figura 11: Aplicação de painéis solares sobre reservatórios de água.
Fonte: McKuin et al. (2021).

Tem-se também observado avanços nas rotas e tecnologias de disposição de rejeitos, com tendência de redução de disposição hidráulica para uma gestão de disposição a seco (*dry stacking disposal* após filtração dos rejeitos), rejeito desaguado, ou utilizando métodos de *dry backfill*, com adensamento prévio, recirculação da água decantada e preenchimento de cavas com o rejeito adensado. Ambos os métodos possibilitam avanços em práticas de circularidade mais amplas, como estudos focados no reúso dos rejeitos (ALCOA, 2022).

■ 2.1.7 A gestão de risco hídrico alinhada aos processos

Os eventos climáticos extremos, os problemas de escassez e o nível de maturidade das instituições fazem com que a gestão do risco hídrico ainda seja um processo complexo, adaptativo e oneroso no segmento de mineração, em especial com relação à necessidade de transparência na divulgação de dados técnicos que precisam estar acessíveis para as comunidades, nas diferentes realidades brasileiras.

Nesse sentido, o uso de indicadores padronizados e de ferramentas de gerenciamento, incluindo as de gestão de risco hídrico, tem se constituído em instrumentos cada vez mais essenciais para o segmento (BISSACOT, 2016).

O uso dos padrões mencionados permite maior transparência nos relatórios de sustentabilidade e a possibilidade de elucidar, para os *stakeholders* externos, avanços na gestão de uso da água, o que associado ao mapeamento de riscos hídricos torna-se ferramenta fundamental para o sucesso da gestão de água na mineração.

Assim, ferramentas de avaliação do risco hídrico vêm sendo desenvolvidas com o intuito de identificar as vulnerabilidades associadas ao recurso água nos locais de instalação e operação. Mueller *et al.* (2015), na busca de ferramentas capazes de mapear o risco hídrico, levantaram os principais mecanismos disponíveis, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Ferramentas de avaliação de risco hídrico utilizadas por Mueller et al. (2015).

Ferramenta	Escala	Fonte de dados	Tipologia industrial	Dados de saída	Desenvolvedor
Global Water Tool (GWT)	Nacional Bacia hidrográfica	Food and Agriculture Organization (FAO); Aquastat; Organização Mundial de Saúde (OMS); Un Population Division (UNDESA); Instituto Internacional de gerenciamento de água e conservação	Sem distinção entre indústrias	Inventário hídrico; Relatório de Indicadores; mapa global de instalações	World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)
India Water Tool (IWT)	Local	Distrito administrativo local indiano	Sem distinção entre indústrias	Mapa com avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea	World Resources Institute (WRI)
Aqueduct Water Risk Atlas Tool (Aqueduct)	Bacia hidrográfica	FAO Aquastat; Banco Mundial; water Footprint Network (WFN)	Nove setores industriais	Mapa global de instalações com uma combinação de 12 (doze) indicadores globais de risco de água	World Resources Institute (WRI)
Water Risk Filter (WRF)	Nacional	FAO Aquastat; WFN; NASA; Organização Mundial de Saúde (OMS)	35 setores industriais	Mapa global de Instalações; Riscos físicos, regulatórios e reputacionais	World Wide Fund for Nature (WWF) and Deutsche (DEG)

Nenhuma dessas ferramentas, de maneira individual, abrange o mapeamento da totalidade de riscos intrínsecos às operações de mineração, mas trazem luz a aspectos essenciais a essa gestão e à necessidade de desenvolvimento de planos de gestão eficientes.

Diante disso, muitas empresas têm adotado modelos de gestão de riscos integrados, utilizando ferramentas, plataformas e metodologias complementares, de forma a possibilitar um mapeamento adequado e a elaboração de planos de gestão mais abrangentes, a exemplo das operações da Glencore, BHP e Newmont (GLENCORE, 2023; BHP, 2023; NEWMONT, 2023).

De acordo com as diretrizes do *Water Act 2000 (QUEENSLAND GOVERNMENT, 2016)*, a elaboração de um plano de gestão hídrica deve se pautar nos seguintes requisitos: i) assegurar o uso eficiente do recurso, incentivando a recirculação de água, ii) prever a implementação de medidas de monitoramento (qualidade e quantidade) e de gerenciamento para redução da demanda de água, e iii) promover a conservação das fontes de abastecimento e mananciais que recebem o desaguamento de efluentes.

Corroborando com essas premissas, um trabalho realizado pela ANA (2015), avaliando experiências internacionais sobre mudanças climáticas e alocação de água, definiu em macro temas os aspectos que devem ser envolvidos na elaboração de um plano de gestão de recursos hídricos, sendo importante que as empresas do segmento considerem os mesmos para a adequada elaboração de um plano de gestão.

A Figura 12 resume os principais aspectos a serem considerados como um guia inicial de componentes para o setor, associando assim os avanços tecnológicos disponíveis à gestão dos riscos envolvidos.



Figura 12: Aspectos a serem considerados em um plano de gestão de recursos hídricos.

2.2 Água, beneficiamento mineral e metalurgia

- Virginia S. T. Ciminelli²⁶

2.2.1 Introdução

O tema água, disponibilidade e qualidade, é estratégico para a mineração e a metalurgia, seja pelo fato de as atividades desses setores envolverem o manejo de grandes volumes de água, seja pelo fato de o tema constituir uma das interfaces mais sensíveis na relação empresa-sociedade. A gestão dos recursos hídricos tem uma influência direta sobre a percepção da sociedade sobre o empreendimento mineral e, por consequência, na concessão da licença social para operar (Ciminelli *et al*, 2015).

Os setores mineral e metalúrgico são intensivos em consumo de água, que está presente em todas as etapas, desde a lavra até o produto metálico, incluindo-se ainda a utilização da água na supressão de poeira, no resfriamento de equipamentos e no transporte de minério. Alguns valores de consumo por tonelada de minério processado ilustram a magnitude da demanda: 2 m³/t (cobre); 1,0 m³/t (zinco); 0,4-0,8 m³/t (ouro); 0,11-1,44 m³/t (ferro); 0,54 - 2,15 m³/t (alumínio) e 1,6-5,9 m³/t (aço produzido). Entretanto, as elevadas taxas de recirculação de água – e.g., 75% na extração de cobre, 80 % na extração do ouro, 81% na mineração de ferro, 90% na produção de aço, propiciam reduções significativas no consumo de água nova (Moura *et al*. 2022, Gerdau, 2022; Vale, 2022; *World Steel Association*, 2020; Cochilco, 2018; CNI, 2012). As variações de consumos específicos de água para um mesmo metal, ou em diferentes empreendimentos de uma mesma empresa, estão relacionadas com às diferenças na mineralogia e nos teores do metal do minério, nas tecnologias utilizadas e nas práticas de gestão em empreendimentos distintos.

Comparado aos demais setores, o consumo de água nova pela mineração é pequeno - cerca de 1,6% do total do uso consuntivo, como mostra a Figura 13. A agricultura, por exemplo, responde (em média) por 70% do total da água consumida no Brasil (50,5% do total no uso consuntivo) e no mundo (*World Bank*, 2022; ANA, 2022; Pg 81). Contudo, as interferências nos recursos hídricos podem ser bastante expressivas localmente, já que dezenas de milhões de toneladas de minério são anualmente processadas em uma única empresa, e os impactos em caso de desastres são de grande amplitude (Barbosa e Ciminelli, 2018). Portanto, as interferências dessas atividades nos recursos

²⁶ Professora Titular, Departamento de Engenharia Metalurgia e de Materiais/ UFMG e Instituto Acqua.

hídricos devem ser mais bem avaliadas, especialmente em regiões em que se concentram muitos empreendimentos, como no Quadrilátero Ferrífero.

Ao longo das últimas décadas, cenários de escassez de água e o crescente foco em questões ambientais têm incentivado a inovação nos processos e na gestão dos recursos hídricos e, dessa forma, promovido avanços que resultam em maior recuperação de água e em práticas mais sustentáveis. A ampliação do uso de tecnologias digitais, por exemplo, possibilita maior controle e eficiência na gestão da água nos circuitos industriais. O aproveitamento da água de chuva e o uso de águas salinas e salobras reduz o consumo da água doce. Tecnologias avançadas de tratamento de efluentes contribuem para a redução de captação de água nova e redução de lançamentos. O processamento a seco (ou com umidade natural) minimiza a necessidade de água de processo. Fica cada vez mais evidente a consolidação do entendimento de que a produção sustentável é um vetor de competitividade e gera retorno financeiro, como também propicia a convivência mais harmoniosa da atividade industrial com a sociedade (de Marca *et al.*, 2022). E uma nova métrica (ESG-*Environmental, Social and Governance*) são incorporados nos relatórios anuais de empresas globais, com critérios para a avaliação de sustentabilidade ambiental, social e de governança corporativa.

A despeito dos avanços destacados acima, são evidentes as pressões crescentes sobre os recursos minerais do planeta e, conseqüentemente sobre os recursos hídricos, para atender às demandas decorrentes do rápido crescimento da população mundial, do aumento do consumo dos chamados produtos tecnológicos e da produção de insumos para a transição energética. Neste cenário, a pegada hídrica dos produtos de base mineral deve ser bem compreendida, criteriosamente dimensionada e devidamente valorada.

Usos Consuntivos Setoriais

em 2022

- Mineração - 1,6%
- Abastecimento rural - 1,6%
- Termelétrica - 5%
- Uso animal - 8,1%
- Indústria - 9,4%
- Abastecimento urbano - 23,9%
- Irrigação - 50,5%



Figura 13: Usos de água consuntivos setoriais em 2022. Fonte: Agência Nacional de águas e saneamento - ANA, dados atualizados em agosto de 2023.

2.2.2 O tratamento de minérios e a metalurgia extrativa

A produção de concentrados e metais envolve uma série de operações e processos unitários, que são, na sua maioria, dependentes de água. As operações unitárias referem-se às etapas do circuito industrial na qual ocorrem transformações físicas da matéria prima. Essas incluem a redução de tamanho (e.g., britagem e moagem), a separação sólido-líquido (e.g., espessamento e filtração) e a concentração. Todas essas operações fazem parte da área de tratamento/beneficiamento de minérios. A cristalização, a extração por solventes, a adsorção em carvão ativado ou em resinas de troca iônica são outras operações unitárias também frequentemente encontradas nos fluxogramas de produção de metais. Os processos unitários caracterizam as etapas nas quais ocorrem reações químicas. A lixiviação (e.g., dissolução) do ouro, cobre, urânio, rocha fosfática em soluções aquosas de seus minérios, a biolixiviação (dissolução mediada por microrganismos) de sulfetos metálicos, a precipitação do carbonato de lítio e a redução de óxidos de ferro em altos fornos são alguns exemplos.

Em linhas gerais, um fluxograma industrial tem como primeira etapa a preparação do minério para a etapa subsequente de extração do metal. A preparação envolve as operações clássicas de tratamento de minérios (cominuição, classificação, concentração e separação sólido-líquido). Em se tratando de fontes secundárias, como na mineração urbana, os procedimentos podem incluir o desmantelamento manual ou mecânico, de forma a permitir a separação dos diferentes materiais que constituem o dispositivo. A preparação dos sólidos visa aumentar a extração, melhorar a seletividade e, em alguns casos, reduzir o consumo de reagentes na etapa seguinte de extração do metal.

Na etapa de extração, o metal de interesse é separado dos demais constituintes do minério ou fonte secundária, por meio de processos pirometalúrgicos, hidrometalúrgicos e eletrometalúrgicos. Nos processos pirometalúrgicos as reações ocorrem em temperaturas elevadas e têm na produção de ferro e aço o exemplo de aplicação mais importante. Na hidrometalurgia a separação se dá por meio da dissolução seletiva do elemento de interesse em meio aquoso. Em seguida, é feita a sua recuperação na forma de um composto (e.g., hidróxidos, carbonatos, sulfetos) ou na forma metálica (e.g., catodos metálicos). A eletrorecuperação (parte da eletrometalurgia) possibilita a produção de metais de elevada pureza diretamente de soluções aquosas (e.g., cobre, zinco, níquel, cobalto) ou em banho de sais fundidos (alumínio), a partir da passagem de uma corrente elétrica. A Figura 14 mostra exemplos de metais produzidos pelas diferentes abordagens que caracterizam a metalurgia extrativa. Alguns processos de extração de metais se enquadram exclusivamente nas rotas pirometalúrgicas ou hidrometalúrgicas (como a produção de aço na primeira e de alumina,

Al₂O₃, na segunda), mas é frequente a combinação de duas ou três rotas nas aplicações industriais. As camadas intemperizadas dos depósitos de cobre e níquel (lateritas) são submetidas a processos hidrometalúrgicos, enquanto os minérios sulfetados podem ser tratados pelas duas opções (piro- e hidrometalúrgica). A eletrometalurgia complementa a piro- e a hidrometalurgia, ao possibilitar a recuperação de metais ou seu refino.



Figura 14: Exemplos de metais e ligas produzidos por diferentes abordagens utilizadas na metalurgia extrativa.

2.2.3 A água e os produtos da mineração e da metalurgia

O papel da água ao longo dos processos extrativos e os impactos na qualidade e quantidade serão analisados considerando-se a produção de concentrados, a produção de ferro e aço - aqui representando os processos pirometalúrgicos e a produção de metais via processos hidrometalúrgicos/eletrometalúrgicos.

No que concerne à interação com a água, é importante destacar diferenças significativas entre os minérios de ferro e os minérios de metais não ferrosos e preciosos, associadas, por exemplo, à mineralogia desses grupos (Ciminelli *et al.*, 2015). O beneficiamento de minérios de ferro, pela escala de produção, é caracterizado pela utilização de grandes volumes de água, mas pelos baixos níveis de contaminação da fase aquosa. Isso se deve ao caráter inerte dos principais constituintes desses minérios, os óxidos de ferro e a sílica, em meio aquoso e em uma faixa ampla de pH.

Vale destacar, ainda, a capacidade dos oxihidróxidos de ferro de removerem cátions e ânions da água, bem como alguns compostos orgânicos, por meio da adsorção e co-precipitação, o que contribui para atenuar o impacto dos reagentes orgânicos usados na flotação dos minérios de ferro.

Por outro lado, os minérios contendo metais não ferrosos e preciosos, particularmente os minérios sulfetados, podem reagir em soluções aquosas aeradas e assim liberar contaminantes. Além disso, a extração hidrometálgica dos metais presentes nesses minérios pode requerer a utilização de reagentes tóxicos, como o cianeto. Isso torna o tratamento dos efluentes mais complexo e oneroso, seja para a recuperação de reagentes e reaproveitamento da água, ou para o enquadramento das emissões ao descarte, o que também se aplica à disposição dos rejeitos sólidos.

A Drenagem Ácida de Mina (DAM), por exemplo, é um fenômeno associado à oxidação de minerais sulfetados, como a pirita (FeS_2) quando expostos à ação combinada da água e do oxigênio, na presença de determinados microrganismos. O processo resulta na geração de acidez e dissolução de metais e oxianions (como sulfatos, arsenatos e arsenitos) e compostos orgânicos (no caso de carvões contendo pirita). A DAM é considerada um dos maiores problemas ambientais associados à atividade mineral. A identificação incorreta ou o gerenciamento inapropriado de minas com potencial de geração de DAM pode implicar em sérios impactos ao meio ambiente, como ocorre na região carbonífera do sul do país.

■ 2.2.4 A produção de concentrados

O Brasil é um importante exportador de *commodities* minerais, muitas dessas na forma de concentrados. A produção de concentrados envolve a comunicação (britagem e moagem) do minério, etapas de concentração, a classificação (por tamanho) e o desaguamento, algumas das quais estão ilustradas na Figura 15. A concentração do mineral de interesse utiliza propriedades como densidade, susceptibilidade magnética, e propriedades interfaciais modificadas (na flotação) - capazes de diferenciar e separar minerais presentes no minério.

Tomando-se como exemplo a indústria de cobre no Chile, maior produtor mundial do metal, observa-se que a produção de concentrados por meio da flotação é responsável por 53% do uso da água continental, as etapas de fusão e refino, 15%, a produção de cátodos via eletrorecuperação, 4%, a lavra, 5%, e outros serviços, 23%. Para atender a demanda crescente de água da indústria de cobre chilena, o crescimento esperado do consumo de água do mar é de 230% no período 2018-2029, atingindo uma participação de 43% do total da água consumida (cerca de $25 \text{ m}^3/\text{s}$) até o final da década atual (Cochilco, 2018).

Além da utilização de águas menos nobres - salinas, salobras e poluídas, outras abordagens têm sido adotadas para a redução da dependência e do consumo de água nas usinas concentradoras de minérios. Moinhos de rolo de alta pressão (HPGR-*High-Pressure Grinding Rollers*) têm substituído a operação a úmido em moinho de bolas. A pré-concentração (*ore sorting*) possibilita a separação a seco de minerais em uma fração grosseira, por meio de sistema de sensores para a identificação e a separação das fases. O peneiramento de sólidos com umidade natural e a implantação de filtros-prensa e centrífugas mais eficientes na separação sólido-líquido também ilustram essas tendências. Um exemplo que demonstra a importância da água nas etapas de concentração dos minérios de ferro é o Complexo S-11D em Carajás/PA, da Vale, onde a qualidade excepcional do recurso mineral permitiu eliminar a etapa de flotação. Este fator, aliado a outros avanços na concepção e implantação do projeto, levaram à redução de 93-95% do consumo de água em relação ao processo convencional.



Figura 15: Operações de moagem (à esquerda) e flotação de minérios de ouro (à direita), com detalhe para a espuma mineralizada. Fonte: Kinross.

A água também tem um papel importante no transporte de minérios por meio de minerodutos, como, por exemplo, nas unidades da Samarco e Anglo American (minério de ferro), em Minas Gerais, e de alumínio e caulim, no Pará.

Os concentrados são transportados na forma de polpa com cerca de 70% de sólidos e 30% de água até as usinas onde são produzidas as pelotas para posterior embarque para o exterior. Dentre as vantagens em relação ao transporte ferroviário e, sobretudo, rodoviário, tem-se: (i) menor ocupação territorial e menor impacto à fauna e flora, (ii) diminuição dos níveis de poeira; (iii) baixo consumo energético e de emissão de CO₂ e (iv) redução dos níveis de ruído, dentre outras (Ciminelli *et al.*, 2015). Por outro lado, os minerodutos são motivo de preocupação e de protestos pelo entendimento de que a disponibilidade hídrica da região de origem está sendo afetada. Um aspecto a ser considerado é o melhor aproveitamento da água no local de destino ao invés do procedimento usual de descarte no mar. O tema minerodutos é discutido em detalhe na Seção 2.3.

2.2.5 A água e a produção de metais: o exemplo do ferro e aço

A principal característica da pirometalurgia é o fato das reações que levam à separação do metal de interesse dos demais constituintes do minério/fonte secundária serem conduzidas em fornos que operam em temperaturas elevadas (e.g., 1400°C no alto forno) (Figura 16). A mineração de ferro e a produção do aço envolvem a utilização de grandes volumes de água, e nesse último, 90% é usado no resfriamento de equipamentos (contato indireto), o que implica em menores riscos de contaminação.

Em algumas etapas do circuito, como na laminação e trefilação, o contato direto metal-água pode resultar na contaminação da água por graxas e óleos. O mesmo ocorre nas torres de lavagem de gases gerados nos fornos, quando particulados e solutos diversos são incorporados à fase aquosa. Na decapagem, que designa a limpeza de peças metálicas com soluções de elevada acidez, o ferro e outros metais são dissolvidos e depois removidos via precipitação. Uma importante fonte de contaminação da água de processo em uma indústria siderúrgica é o setor de carboquímica. A presença de compostos orgânicos, como amônia, cianeto e fenóis requer tratamentos químicos e biológicos para que o efluente possa retornar ao processo ou ser descartado.

Os altos índices de recirculação (e.g., 97% ou superior) nos circuitos industriais permitem o alcance de consumos específicos de água na faixa de 1,6-5,9 m³/t de aço produzido. (Gerdau, 2022; *World Steel Association*, 2020). A água nova na siderurgia, cerca de 3-4% do total, repõe as perdas que ocorrem,

principalmente por evaporação nas torres de resfriamento e na umidade associada às lamas geradas nos processos de tratamento (CNI, 2012). Para reduzir ainda mais o consumo de água, deve-se procurar minimizar as perdas por evaporação, a umidade associada às lamas e coprodutos, além de vazamentos nos equipamentos e tubulações. O emprego da água do mar, de chuva e água salobra também contribui para atender à demanda do setor.



Figura 16: A produção do aço em fornos (superior) e a laminação (inferior).

■ 2.2.6 A água e a produção de metais via processos hidrometalúrgicos

A água constitui um insumo essencial nas reações de extração dos metais pela hidrometalurgia, uma vez que basicamente todas as etapas envolvem reações em meio aquoso. Alumínio, ouro, urânio, zinco, níquel, cobre, lítio, são exemplos de metais extraídos, total ou parcialmente por meio dessa classe de processos, assim como as terras raras e o ácido fosfórico.

As etapas típicas da extração hidrometalúrgica são a lixiviação, o tratamento do licor e a recuperação do metal, sendo todas realizadas em meio aquoso, em polpas que contêm sólidos (e.g., 40% sólidos) dispersos em solução aquosa. A lixiviação envolve a dissolução seletiva do metal de interesse em uma solução aquosa contendo ácidos, bases ou agentes complexantes, em condições variadas de pressão e temperatura (usualmente de 25 a 250°C) (Figura 17).

À lixiviação segue a separação da fase aquosa (licor), por meio de operações como espessamento, filtração e lavagem em contracorrente, sendo uma parte a espécie de interesse na forma aquosa e a outra parte o rejeito sólido. A eficiência da etapa de separação sólido-líquido é determinante, não apenas para a recuperação do metal de interesse, mas também da água associada ao rejeito. Após a separação do rejeito, a solução (licor) contendo o metal dissolvido segue para uma etapa de tratamento do licor, que visa à purificação (i.e., remoção de espécies solubilizadas, mas deletérias para a recuperação do metal) e à concentração do metal na fase aquosa.

A precipitação (e.g., de ferro e alumínio na forma de oxihidróxidos metálicos), a adsorção em carvão ativado ou em resinas poliméricas de troca iônica (e.g., do cianocomplexo aurato) e a extração por solventes (e.g., na separação cobre/ferro ou cobalto/níquel) são exemplos de tratamento do licor. Esses processos são também aplicados no tratamento de efluentes aquosos. Finalmente, o metal presente na solução purificada é recuperado na forma metálica ou de um composto metálico.



Figura 17: Tanques com agitação (à esquerda) usados na lixiviação de minério.

São reportadas taxas de recirculação de água de 75% na extração de cobre e 80 % na extração do ouro. Os consumos de água por tonelada de minério processado são da ordem de 2 m³/t (cobre), 1,0 m³/t (zinco) e 0,4-0,8 m³/t (ouro). Devido ao seu nicho de aplicação, os processos hidrometalúrgicos podem gerar soluções aquosas contendo uma grande variedade de compostos químicos, alguns de grande toxicidade. A presença de elevadas concentrações de alguns cátions, como cálcio e magnésio e de ânions, como sulfato e carbonato, pode dificultar o reaproveitamento da água de processo. As emissões aquosas devem ser tratadas para se enquadrarem aos padrões de lançamento e não causarem riscos ambientais e à saúde humana.

■ 2.2.7 Alguns desafios para a gestão de água na mineração

Empresas de mineração e metalurgia têm avançado na redução da pegada hídrica e no uso responsável da água em suas instalações e no entorno do empreendimento, devendo-se reconhecer que há progressos contínuos importantes. Entretanto, são inúmeras as oportunidades de melhorias, seja na solução de problemas já bem caracterizados ou de outros, emergentes. Algumas dessas questões serão abordadas a seguir:

1. Metas de emissão zero de efluentes aquosos.

Tecnologias de tratamento de água já bem estabelecidas e em desenvolvimento têm permitido:

- a. ampliar a utilização de águas menos nobres (e.g., salinas) nos circuitos industriais,
- b. tratar e aumentar as taxas de recirculação da água de processo e
- c. enquadrar as emissões aos padrões impostos pela legislação.

Essas medidas permitem reduzir a captação de água doce, o impacto ambiental e os riscos à saúde humana. Mas a redução da concentração de algumas espécies na água de processo ainda apresenta dificuldades. O sulfato é um exemplo, pois trata-se de um ânion bastante comum nos circuitos industriais. Mas a despeito da existência de inúmeras alternativas para a sua remoção, como a precipitação de sulfatos (e.g., gesso (CaSO₄·2H₂O) ou etringita (Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂·26H₂O)), ou de sulfetos metálicos, não há um consenso sobre qual seria uma opção de processo suficientemente atrativa para um uso mais universal. Desafios são também inerentes à disposição e à estabilidade de longo prazo de rejeitos produzidos nas etapas de tratamento de efluentes, em especial aqueles contendo espécies tóxicas e sem possibilidade de reutilização.

2. As barragens e a gestão da água.

Os desastres causados pelos rompimentos das barragens de rejeitos de minérios de ferro em Mariana e Brumadinho (Minas Gerais) foram um ponto de inflexão para o setor mineral no Brasil e no mundo, com a consequente adoção de tecnologias para empilhamento dos rejeitos e a descaracterização das barragens. O controle do teor de umidade é essencial para a estabilidade das pilhas. Além da eliminação dos riscos advindos de rompimento, essas práticas reduzem o volume de água associado aos rejeitos nos reservatórios, e as perdas por evaporação. Por outro lado, considerando-se as barragens construídas para acumulação de água, é certo que essas são uma das fontes de água para os circuitos de beneficiamento mineral e metalurgia, por exercerem um papel central na estocagem e recirculação de água para o empreendimento. Os barramentos tornam o empreendimento menos suscetível à escassez ou excesso de água, e aos consequentes riscos ambientais e econômicos advindos desses fenômenos. No caso de processamento de minérios sulfetados, as barragens permitem manter uma coluna de água que minimiza o transporte de oxigênio até os sólidos saturados, o que evita a sua oxidação. Ou seja, por meio do controle de fatores geoquímicos evitam-se fenômenos como a drenagem ácida de mina bem como seus impactos nos recursos hídricos da região. A estabilidade estrutural e química das pilhas de rejeito, no longo prazo, é algo ainda a ser mais bem compreendida, em especial diante dos eventos extremos associados às mudanças climáticas.

3. Os impactos das mudanças climáticas na gestão de recursos hídricos.

As mudanças climáticas em curso e seus impactos, dentre os quais eventos extremos de precipitação/seca e de temperaturas, irão exigir abordagens dinâmicas para as adaptações necessárias e para a gestão de riscos. Nesse cenário, diversas ferramentas no âmbito das tecnologias digitais irão desempenhar um papel fundamental na otimização do uso da água, na modelagem dos sistemas e, por conseguinte, na gestão e, ainda, na comunicação com a sociedade. Por exemplo, os avanços no uso de sensores para monitoramento, em tempo real, de vazão e qualidade da água possibilitam identificar ineficiências e perdas, e intervir prontamente. A ampliação da utilização dessas ferramentas para uma escala territorial significará um salto importante na gestão dos recursos hídricos, em tempos de mudanças climáticas e de aumento de demandas.

2.2.8 Considerações finais

São inúmeros os desafios para se chegar a soluções tecnológicas e de gestão que contemplem tanto a preservação como o aproveitamento racional

dos recursos minerais e dos recursos hídricos, com vistas à promoção do desenvolvimento regional sustentável.

Para tal, é importante reconhecer que, além de representar um insumo valioso para a indústria, a água é componente fundamental de um ambiente formado por uma matriz física e química, que suporta e interage com um conjunto riquíssimo de organismos (biota) mantido graças aos processos ecológicos essenciais. Esse ambiente que detém uma qualidade física, química e biológica a que chamamos de biodiversidade, deve ser conhecido e preservado, conforme destaca o documento síntese de um workshop realizado por ocasião da celebração do centenário Academia Brasileira de Ciências (Barbosa e Ciminelli, 2017) A água é um recurso renovável, porém finito. Assim, conhecer a disponibilidade hídrica de um território ou “ecossistema mineral”, considerando as águas superficiais e subterrâneas, bem como as suas interações, torna-se um pré-requisito para a construção de futuro, com qualidade de vida e desenvolvimento sustentável.

O conhecimento da disponibilidade hídrica é particularmente relevante diante dos impactos das mudanças climáticas e do crescimento acelerado da demanda por recursos minerais para atender à transição energética. Nesse contexto, deve-se acelerar a adoção das diversas ferramentas disponíveis no âmbito das tecnologias digitais, pelo seu papel alavancador na otimização da gestão dos recursos hídricos. Deve-se enfatizar que, para o entendimento de questões de natureza multidisciplinar e de elevada complexidade, como é a gestão dos recursos hídricos no cenário atual e futuro, é necessária a construção de uma rede multidisciplinar de colaboração entre especialistas e todas as partes interessadas. O protagonismo da indústria, compartilhando um conhecimento abrangente e diferenciado dos recursos hídricos no seu ecossistema mineral será fundamental para desenvolver e implementar coletivamente soluções eficazes e de longo prazo, que compatibilizem as necessidades das partes interessadas com responsabilidade ambiental e social.

Finalmente, deve-se tornar mais acessível a informação, por meio da utilização de ferramentas tecnológicas avançadas, de forma a atingir um novo patamar de educação ambiental, com comprometimento de toda a sociedade.

2.3 Minerodutos – O Sistema de transporte de baixo carbono na mineração

- Vítor Rodrigues Quitês²⁷

2.3.1 Introdução

A atividade de mineração se relaciona com o gerenciamento do uso de recursos hídricos em várias etapas do processo produtivo: nas captações, aduções e reseravações de água, em seu uso como insumo, notadamente nos processos de beneficiamento, e ainda considerando os monitoramentos de quantidade e de qualidade de água, necessários para o controle das operações e para atendimento das conformidades legais.

Nesta seção, vamos tratar especificamente do uso da água para fins de transporte, pontuando sobre inovações tecnológicas que, no caso do mineroduto da Samarco, apresentam respostas condizentes com a proposta da empresa, de redução das emissões de carbono e de redução no consumo de água.

Em tempos de alertas sobre os impactos das mudanças climáticas, quando há consenso global no esforço para diminuição das emissões dos gases de efeito estufas (GEEs), não há dúvidas sobre a grande contribuição representada pela adoção do transporte por dutos, na medida em que substitui o transporte rodoviário, com alto consumo de derivados de petróleo, única opção regional considerando-se a carência de outros modais menos poluentes, como o ferroviário, embora também menos satisfatórios que o mineroduto.

A opção da Samarco pelo mineroduto confere à empresa um diferencial competitivo relacionado à utilização das modernas soluções de transporte, especialmente no cenário de um esforço global para a neutralização da emissão de carbono, que inclui a adesão de vários estados do Brasil, na campanha *Race To Zero*²⁸.

²⁷ Gerente de Minerodutos e Manutenção – Samarco Mineração. Engenheiro Mecânico (PUC Minas), Mestre em Engenharia de Materiais (UFOP), MBA Executivo Empresarial (FDC). Email: Vitorrq@samarco.com

²⁸ O *Race to Zero* é uma campanha global para reunir lideranças com objetivo de alcançar emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até 2050.

2.3.2 Usos da água no processo produtivo da Samarco²⁹

O processo produtivo da Samarco se inicia no Complexo de Germano, localizado em Mariana (MG), onde ocorre a extração do minério de ferro na Mina de Alegria, com a utilização de equipamentos de grande porte e tecnologias inovadoras. Da mina, o minério é conduzido para a planta de beneficiamento por meio de um sistema de correias transportadoras de longa distância.

Na etapa inicial do processo de beneficiamento, a granulometria do minério é ajustada passando pelo peneiramento e pela britagem. Da britagem, o minério segue para a Usina de concentração, onde alimenta os moinhos primários, iniciando o processo de cominuição do minério. Nesse momento é iniciado o uso de água nos processos produtivos da Samarco.

Após a moagem, o minério segue para a próxima etapa que é a flotação, onde ocorre a separação do ferro de seus contaminantes, principalmente a sílica. Após a flotação, a polpa de minério de ferro vai para os espessadores de concentrado e os rejeitos seguem para o sistema de filtragem. Praticamente toda a água desses processos é tratada e reutilizada na unidade. Dos espessadores, a polpa é direcionada para os tanques de concentrado e posteriormente transportada por meio do bombeamento no mineroduto de 400 km para a unidade de Ubu, em Anchieta (ES).

No Complexo de Ubu, o processo de produção de pelotas começa com a retirada da água da polpa de minério de ferro, por meio dos espessadores e posteriormente ocorre a filtragem do concentrado. Assim como acontece na unidade de Germano, toda a água que chega pelo mineroduto é devidamente tratada e reutilizada.

A Figura 18 ilustra este processo produtivo.



Figura 18: Processo produtivo da Samarco Mineração S.A.

29 Fundada em 1977, a Samarco é uma empresa de capital fechado que atua no segmento de mineração pioneira no Brasil na lavra de minério de ferro de baixo teor e no transporte da polpa por Mineroduto. Seu principal produto, de alta qualidade e alto valor agregado, são as pelotas de minério de ferro, matéria-prima para produção de aço pela indústria siderúrgica comercializadas para países das Américas, do Oriente Médio, da Ásia e Europa, além do mercado interno.

O sistema de tratamento e reutilização da água proporciona resultados significativos. Em 2022, atingimos a média anual de 88% de reutilização de água em nossas operações, um resultado significativo se comparado a 2021, quando registramos 85,6% de reutilização de água.

Importante registrar que a Samarco mantém as devidas outorgas, para os específicos usos e finalidades da água, assim como monitora o cumprimento de todos os requisitos exigidos pelos órgãos públicos, desde a captação de água até o descarte, conforme parâmetros de qualidade predefinidos em base em regulamentações. Além disso, realiza frequentemente análises dos indicadores de performance hídrica e do balanço hídrico, garantindo a efetividade do processo e mantendo a transparência das atividades frente ao poder público. As estações de tratamento de água e efluentes dos complexos de Germano (MG) e de Ubu (ES) são monitoradas constantemente e recebem avaliações e auditorias periódicas. Também são monitoradas as vazões nos pontos de captação e a qualidade das águas sob influência das nossas atividades.

A Samarco compara os resultados de taxas de recirculação de água com empresas do setor que possuem processos de beneficiamento mineral similares. Nesse cenário, a empresa figura com uma das mais altas taxas de recirculação, com resultado de 85% e objetivo de chegar a 91% até 2032. A Samarco acompanha e reporta constantemente seu balanço hídrico. Somente há captação de águas naturais na unidade de Germano. A unidade de Ubu não realiza captação de águas naturais, pois recebe, trata e recircula os volumes recebidos da unidade de Germano via mineroduto.

■ 2.3.3 O mineroduto

Para a efetiva utilização de minerodutos como meio de transporte, é necessário haver grande confiabilidade e disponibilidade do sistema de bombeamento, principalmente quando essa opção torna-se o único meio de escoamento da produção.

O transporte de minérios a médias e longas distâncias por meio de minerodutos vem ganhando importância na indústria minero-metalúrgica e se transformando em uma alternativa mais econômica e confiável – tanto no aspecto de desempenho como no aspecto ambiental – em relação aos modos tradicionais de transporte de sólidos.

A Samarco Mineração possui três minerodutos, com aproximadamente 400 km de extensão cada um. Os dutos transportam a polpa constituída de uma mistura de minério de ferro e água, com cerca de 70% de sólidos em peso.

A Figura 20 mostra as estruturas do Mineroduto 3 (estações de bombas e estações de válvulas)



Figura 20: Estruturas do mineroduto 3.

Nas estações de bombeamento do mineroduto, bombas de deslocamento positivo, que são acionadas por motores elétricos, impulsionam a polpa de minério de ferro dentro da tubulação. A energia elétrica utilizada por esses motores, proveniente da hidrelétrica de Furnas, é uma fonte de baixa emissão de carbono na atmosfera, e dessa forma o sistema do mineroduto contribui fortemente para a redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera.

Entre os vários benefícios dos minerodutos, no tocante aos benefícios sociais e ambientais, destacam-se a redução do tráfego de carretas em estradas e de vagões das linhas férreas, além de serem meios de transporte seguros e de baixo impacto poluidor. Sob o ponto de vista dos benefícios econômicos, se comparado a outros modais de transporte, o mineroduto da Samarco tem custo dez vezes menor que o modal rodoviário, seis vezes e meia menor que o ferroviário e quatro vezes mais barato que o transporte hidroviário³⁰.

30 Esse comparativo foi baseado em dados da Log in International Logistics, Cia Factbook, Transport Ministry; ANTT.

2.3.4 Inovações tecnológicas na operação do mineroduto: redução do consumo de água

Sabemos que as inovações tecnológicas são pesquisadas e aplicadas visando aperfeiçoamentos que tragam, principalmente, vantagens competitivas, uso eficiente de recursos e melhorias nos processos.

Com esses objetivos, em 2022 a Gerência de Mineroduto da Samarco pesquisou soluções no mercado, e após vários estudos em conjunto com um fornecedor, conseguiu desenvolver e substituir o uso de gaxetas nos sistemas de selagem das bombas centrífugas por um selo mecânico.

Para que se entenda o que tal inovação incremental significou para a Samarco, na operação do mineroduto, vale uma breve explicação do sistema anterior, que foi aperfeiçoado. Toda bomba centrífuga de polpa normalmente possui um eixo passante através de seu invólucro, apoiado sobre um mancal; conseqüentemente, todas necessitam de um selo para o eixo. Dessa forma, evita-se que a polpa contida na câmara interna da bomba (alta pressão) flua para a parte externa (baixa pressão). Os selos tipo gaxeta têm sido tradicionalmente utilizados e são uma solução de selagem confiável e de baixo custo; a gaxeta fica enclausurada na caixa de gaxeta, contida no invólucro da bomba. O eixo é normalmente protegido por uma luva, produzida com um material resistente a desgaste, para prolongar a sua vida útil.

A Figura 21 mostra alguns componentes do sistema de selagem de bombas de polpa.



Figura 21: Elementos do sistema de selagem em bombas de polpa.

Com a substituição do uso de gaxetas por um selo mecânico, foi obtida uma redução de $6\text{m}^3/\text{hora}$ no consumo de água no mineroduto, além de outros ganhos expressivos, como o aumento do percentual de sólidos transportados na polpa de minério de ferro, a redução do descarte de resíduos industriais e a eliminação da exposição dos empregados ao risco da atividade de regulagem de gaxetas.

A Figura 22 apresenta mais detalhes dessa inovação.

RECONHECIMENTO DE BÔNUS AMBIENTAL - 2023 SAMARCO

AÇÃO DE MELHORIA, PROJETO OU INOVAÇÃO IMPLEMENTADA:
Eliminação do uso de gaxeta das bombas de carga

GERÊNCIA: Mineroduto - GM! **PERÍODO EM QUE FOI IMPLEMENTADA A AÇÃO:** Março /23

LOCAL: Estação de Bombas 4 e 5

DESCREVA AQUI OS OBJETIVOS E OS GANHOS AMBIENTAIS DA AÇÃO IMPLEMENTADA:
A instalação de selos mecânicos na bomba de carga FB4 (Germano) e na bomba de carga FB5 (Molpá) substituindo o uso de gaxetas para selagens das bombas, eliminou os vazamentos de água/poço das bombas centrífugas do Mineroduto 2. Tais vazamentos eram considerados defeitos durante as inspeções ambientais. A implementação também gerou a eliminação de resíduos para descarte (gaxetas).

REGISTRO FOTOGRÁFICO

EQUIPE ENVOLVIDA:
Manutenção do Mineroduto da Germano.

RESULTADO DA AVALIAÇÃO:
 Aprovado Reprovado

Figura 22: Substituição de gaxetas por selo mecânico nas bombas centrífugas do mineroduto.

Em 2023, iniciamos a instalação do sistema de selo mecânico nas bombas centrífugas auxiliares. Essas bombas fornecem água para equipamentos tais como torres de resfriamento, bombas de carga, trocadores de calor, e ainda água de serviço e de diluição, além da água para a limpeza das bombas principais. Todas elas vêm de fábrica com sistema de gaxetas, que requerem manutenção constante para ajuste e apresentam grande consumo de água.

A expectativa é de reduzir ainda mais o consumo de água nas bombas auxiliares, com os investimentos na troca do sistema de selagem por selo mecânico.

A comparação entre os sistemas ilustra as possíveis reduções de consumo com a substituição das gaxetas pelo selo mecânico, por equipamento, conforme ilustrado na Figura 23.

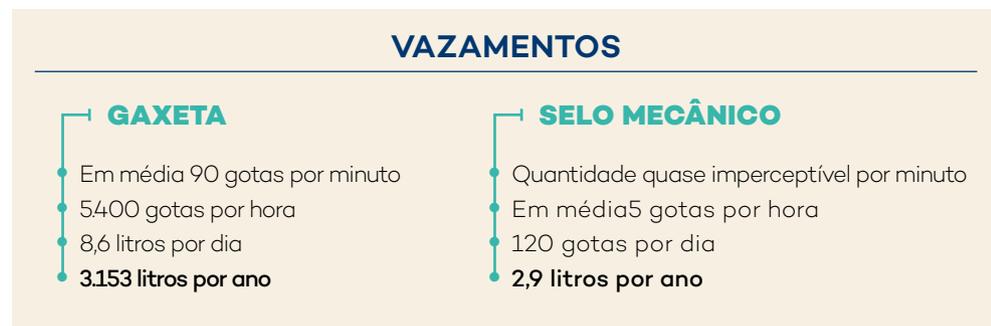


Figura 23: Estudo da empresa Flowserve.

As bombas principais do mineroduto são do tipo diafragma, conforme a Figura 24. Elas foram projetadas e instaladas sem o sistema de selagem, o que reduz consideravelmente o consumo de água se comparado com as tradicionais bombas de deslocamento positivo do tipo plunger.

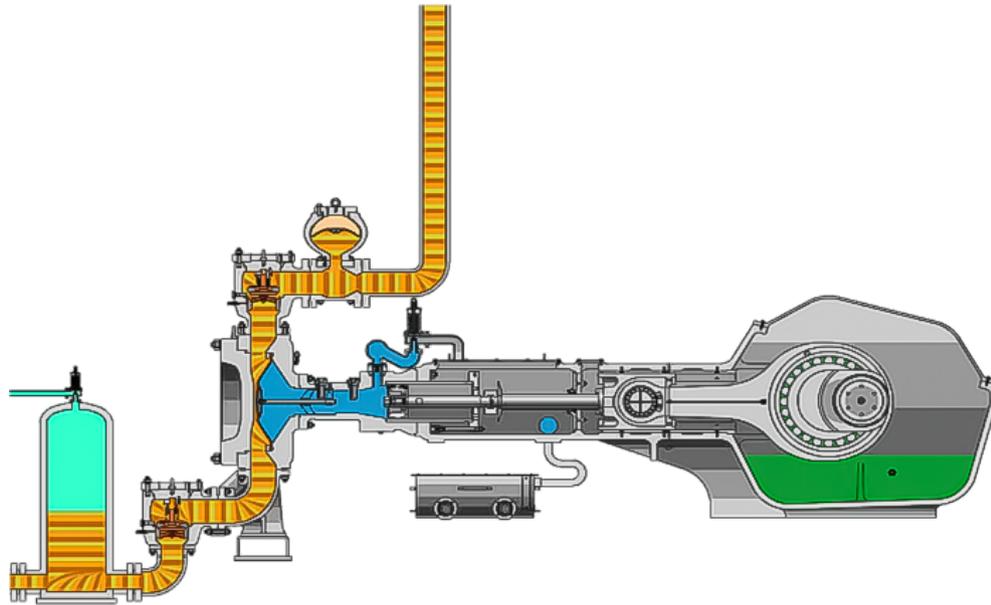


Figura 24: Bomba de diafragma modelo Geho TZPM 2000.

A Samarco busca e aplica inovações, de forma constante, especificamente com seu mineroduto – um modal de transporte que impacta positivamente a economia de baixo carbono, e de forma geral, para todas as suas operações.

Os resultados eficientes no consumo de água nova, aqui apresentados, demonstram a importância do reconhecimento da empresa quanto à necessidade de mudanças e adaptações para um mercado que exige e que impõe, quando o foco é a sustentabilidade.

2.4 Hidrogeologia e a mineração

- Antônio Carlos Bertachini³¹
- Daniel Pérez Bertachini³²

2.4.1 Introdução

A relação entre a mineração e a economia do Brasil possui raízes profundas na história do país, datando do final do século XVII, quando a descoberta do ouro em Minas Gerais marcou o início de uma jornada que moldaria o desenvolvimento econômico e social. A atividade mineradora, assim como outras atividades econômicas, tem uma interação significativa com o meio ambiente, especialmente com os recursos hídricos. A relação da água subterrânea com a mineração requer atenção especial, pois sua ocorrência desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das atividades de lavra, e o beneficiamento mineral depende desse insumo.

A interação entre a mineração e a hidrogeologia, além de ser um campo complexo, que deve ser cuidadosamente gerenciado, está em constante evolução. À medida que a mineração se inova, a compreensão da complexidade e a gestão adequada dos recursos hídricos tornam-se cada vez mais cruciais e, quando efetivadas, garantem não apenas o sucesso das operações, mas também a sustentabilidade das operações e o atendimento às necessidades das comunidades circundantes. O presente capítulo explora essa fascinante relação entre a hidrogeologia e a mineração, com seus desafios, suas soluções e seus impactos, envolvendo vários elementos e aspectos ao longo do tempo.

2.4.2 Histórico da água e mineração no Brasil

Historicamente, o Brasil registrou o início da mineração no final do século XVII com a descoberta do ouro em Minas Gerais. Nessas primeiras minas, a água desempenhava um papel primordial no processamento do minério, mas também representava um desafio, uma vez que se tornava um obstáculo à profundidade das escavações devido às limitações tecnológicas da época.

31 Geólogo, pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGC-USP)1975; Mestre em Hidrogeologia pela Universitat Politècnica de Catalunya · Barcelona Tech – UPC.

32 Especialista em Hidrogeologia/Hidrologia Subterrânea pela Universidade Politècnica da Catalunya (Espanha) – UPC/FCIHS e graduado em geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

No entanto, à medida que o Brasil progredia, especialmente a partir da segunda metade do século XX, a extração de minério de ferro ganhou destaque. Esse crescimento significativo foi motivado pela demanda da indústria siderúrgica em expansão e pela consolidação do mercado internacional de minério de ferro no pós-guerra. Isso resultou em um processo de industrialização e rápido crescimento urbano, especialmente nas grandes metrópoles do país e, conseqüentemente, na necessidade de aprofundamento do conhecimento do papel da água na atividade industrial, em toda a cadeia de produção.

■ 2.4.3 Um breve histórico da hidrogeologia no Brasil

A hidrogeologia, como ferramenta de planejamento do governo, começa com a criação dos cursos de Geologia no final dos anos 50 do século passado, no governo JK (Juscelino Kubitschek de Oliveira, presidente do Brasil) e principalmente pelo seu então Ministro do Planejamento e Orçamento, Celso Monteiro Furtado, criador da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste). Devido às condições climáticas adversas do nordeste brasileiro, a água subterrânea se coloca como fator essencial para o planejamento governamental. Assim, a SUDENE criou um robusto grupo de hidrogeólogos que, com o passar do tempo, saíram pelo Brasil afora, adquirindo e divulgando o conhecimento sobre o tema.

Pode-se dizer que, sob o ponto de vista da atuação prática, na SUDENE foi criada a primeira escola brasileira de hidrogeologia, e, a partir dela, vão surgindo outras, como a de São Paulo, na primeira metade dos anos 70. Tem-se, assim, a segunda escola no país, criada pelo Projeto Estudo de Águas Subterrâneas, capitaneado pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), que conseguiu concluir o inventário de todo seu território no começo dos anos 80, algo que a SUDENE já havia concluído, uma década antes, para toda a sua área de atuação.

No final dos anos 1970 e início dos anos 1980, surge uma terceira escola de hidrogeologia, na Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, com a participação de vários hidrogeólogos egressos da SUDENE.

Com o minguar das verbas de pesquisa, mais ao final dos anos 80, todas essas “escolas” ficaram desamparadas, com redução nos projetos, e muitos técnicos migraram para as universidades ou para a atuação na área da mineração, de maneira direta ou indireta. A mineração, pela sua necessidade de lidar com a complexidade da pesquisa e do manejo das águas subterrâneas, pode ser assim considerada a nossa quarta escola de hidrogeologia.

■ 2.4.4 O desafio na gestão da água nas minas

No início dos anos 1980, um novo capítulo começou a ser escrito nas grandes minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero. A água subterrânea, até então uma força latente, tornou-se crucial na indústria da mineração. Foi nesse período que as operações se viram diante de um desafio inédito: o rebaixamento do nível d'água em grande escala. Essa situação marcou o princípio de uma colaboração para aquisição de conhecimentos e intercâmbios de experiências ricas e surpreendentes, abrindo novas oportunidades para profissionais “formatados” nas escolas de hidrogeologia, e que encontraram uma demanda crescente de investigação, desenvolvimento tecnológico e de trabalho na indústria mineradora.

Mais estudos, mais pesquisas e maior desenvolvimento tecnológico, no campo da hidrogeologia, foram motivados pela implementação do rebaixamento do nível d'água, uma operação carregada de muitos desafios. Vale destacar o fato de que as comunidades vizinhas aos empreendimentos minerários, leigas e sem a obrigação de compreenderem os princípios complexos da hidrogeologia, expressaram, de pronto, uma desconfiança considerável. Os hidrogeólogos da mineração, por sua vez, ainda não tinham as respostas mais precisas para as preocupações dessas comunidades. Essa desconexão inicial, que reflete os primeiros conflitos entre as mineradoras e as comunidades, inspirou a uma dedicação maior e mais assertiva na busca de respostas e soluções. Como resultado, foi fomentado o desenvolvimento de metodologias para os estudos de disponibilidade hídrica subterrânea, no contexto da atividade minerária, com foco na reposição de água para o meio ambiente, no real dimensionamento da intervenção, na disponibilidade hídrica superficial da bacia hidrográfica na qual fazia-se o rebaixamento e no impacto quanto ao abastecimento de água para as comunidades vizinhas.

Foi desenvolvido, assim, um processo de caracterização hidrogeológica inicial, a ser realizado ainda na fase de planejamento de um novo projeto minerário, abrangendo toda a área circundante. Nesse processo, duas atividades de campo se destacam como cruciais: o levantamento de pontos d'água e o registro de usuários de águas subterrâneas e superficiais no entorno das minas.

Com esse processo, à medida que as empresas de mineração buscavam implementar o rebaixamento do nível d'água, começaram a integrar estudos hidrogeológicos de forma mais abrangente em suas operações. Isso incluiu pesquisas detalhadas com o mapeamento de nascentes, avaliação hidroquímica e de isótopos ambientais e, principalmente, o monitoramento constante dos fluxos em cursos d'água e medição precisa dos níveis d'água dos aquíferos, usando redes de poços de monitoramento

e piezômetros³³ (Figura 25). Esse monitoramento contínuo foi fundamental para se compreender as transformações nos sistemas aquíferos ao longo do tempo, e tornou-se uma prática essencial em diversos tipos de estudos de outorga de direito de uso da água³⁴, como a outorga para pesquisa hidrogeológica, uma modalidade aplicada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, IGAM - MG. Essas práticas do processo de caracterização hidrogeológica, desde sempre, não apenas fornecem dados essenciais para a mineração, mas também contribuem para uma gestão mais consciente e sustentável dos recursos hídricos na região.



Figura 25: Construção de um piezômetro.

Paralelamente ao avanço das operações de rebaixamento do nível d'água, a indústria da construção de poços tubulares cresceu e teve de enfrentar desafios tais como: novas tecnologias na perfuração em rochas abrasivas e na construção de baterias de poços (Figura 26); e, na operação dos poços para rebaixamento em meio às operações de lavra.

33 O piezômetro (PZ) é um instrumento usado para medir o nível d'água do aquífero. Trata-se de um dispositivo instalado em determinada profundidade no subsolo para monitorar as águas subterrâneas. Ele é construído a partir da execução de um furo de sondagem, no qual é instalada uma coluna de revestimento composta por tubos liso e tubos filtros, no intervalo do aquífero que se deseja investigar. O espaço anelar dos filtros é preenchido com pré-filtro e dos tubos lisos com calda de cimento de modo a confinar a seção filtrante.

34 Documento emitido pela autoridade outorgante, que assegura ao usuário o direito de utilização dos recursos hídricos. A outorga é um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, e permite o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, possibilitando uma distribuição mais justa e equilibrada desses recursos.



Figura 26: Foto de bateria de poços na Mina do Cauê, anos 1980.

Outro aspecto crucial foi a integração das redes de monitoramento da qualidade de águas. A realização de análises hidroquímicas detalhadas, juntamente com o uso de isótopos ambientais e traçadores (Figura 27), desempenharam um papel fundamental na compreensão da qualidade das águas subterrâneas. Essas análises minuciosas foram essenciais para garantir não apenas que a água captada para as operações de mineração estivesse disponível em quantidade suficiente, mas também para assegurar que estivesse dentro dos padrões de qualidade aceitáveis. Esse cuidado meticuloso com a qualidade da água não apenas fortaleceu a confiança das comunidades locais, mas também promoveu práticas sustentáveis na indústria da mineração.



Figura 27: Foto da utilização de traçador em um ponto de infiltração de água, em mina a céu aberto.

Para o aperfeiçoamento do processo de dimensionamento dos sistemas de rebaixamento nas minas, que incorporasse uma avaliação de cenários futuros, de modo a antecipar impactos nos recursos hídricos, e assim dar as respostas mais adequadas às comunidades do entorno bem como contribuir com a melhor gestão de recursos hídricos, tornou-se essencial o desenvolvimento de softwares especializados em simulação do fluxo subterrâneo de modo a quantificar, no tempo e no espaço, os aspectos quantitativos e qualitativos da disponibilidade hídrica. Assim, a adoção desses softwares na indústria da mineração significou um grande avanço, representando um passo crucial no processo de gestão operacional, especialmente em situações complexas, passando, inclusive, a ser ferramentas corriqueiras, hoje incorporadas e essenciais, tanto no processo de licenciamento ambiental, para análise de viabilidade, como no de planejamento de lavra.

Esses softwares, que são modelos numéricos desenvolvidos para a mineração, têm como particularidade contar com uma ampla base de dados geológicos provenientes da pesquisa mineral, combinados com dados reais meticulosamente calibrados, incluindo informações sobre o fluxo de água

superficial, os níveis d'água subterrânea e as vazões bombeadas. Esses modelos possibilitam a previsão de cenários futuros, oferecendo insights valiosos para o planejamento e a análise das interferências, tanto dentro das minas quanto em suas áreas circundantes. Além disso, esses modelos fornecem elementos cruciais para a gestão sustentável dos recursos hídricos, desempenhando um papel fundamental na tomada de decisões para garantir o uso sustentável da água subterrânea. Eles se tornaram instrumentos essenciais para assegurar a preservação do meio ambiente enquanto se promove o desenvolvimento da indústria de mineração.

Além dos benefícios no planejamento da atividade minerária com o menor impacto sobre os recursos hídricos, a aplicação desses modelos ocorreu inicialmente no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, mas, rapidamente, foi disseminada para outras regiões minerais. A ampla base de dados hidrogeológicos, citada acima, facilitou uma intensa troca de conhecimentos entre os profissionais que trabalham com água subterrânea e mineração, sendo apresentada em seminários e congressos, como os da ABAS (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas). Um marco notável foi atingido com o estudo de Silva *et al.* (1994), representando a primeira avaliação da disponibilidade de água subterrânea na região do Quadrilátero Ferrífero, com base nos dados das primeiras minas que implementaram o rebaixamento do nível d'água. Bertachini (1994) contribuiu com um relato pioneiro sobre a hidrogeologia e o desaguamento de uma mina de ferro na mesma região - Mina de Águas Claras, da então MBR (Minerações Brasileiras Reunidas),.

Todos esses avanços justificam a afirmação de que a mineração é a “quarta escola” de hidrogeologia no Brasil, dando origem a inúmeras empresas de consultoria especializadas em mineração, águas subterrâneas e meio ambiente. Essas empresas atuam como verdadeiras produtoras e disseminadoras de conhecimento, treinando e capacitando profissionais para o setor de mineração, na constante busca para garantir não apenas o desenvolvimento sustentável da atividade, mas também a preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente.

■ 2.4.5 Estudos de caso e outras aplicações

A contribuição da mineração para o avanço no conhecimento da hidrogeologia no Quadrilátero Ferrífero merece um destaque especial, por ser de fato uma referência nesse campo da ciência.

Uma série de trabalhos acadêmicos, incluindo dissertações de mestrado e teses de doutorado, foi enriquecida pelos dados provenientes dos estudos de hidrogeologia elaborados para as indústrias mineradoras dessa região. Um estudo de grande envergadura é o da APASUL-RMBH (Área

de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte), em colaboração com o Serviço Geológico do Brasil (SGB ou CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), no qual a hidrogeologia foi tratada com destaque. Como um estudo multidisciplinar, abrangendo vários municípios de Minas Gerais, como Catas Altas, Santa Bárbara, Caeté, Rio Acima, Itabirito, Nova Lima, Brumadinho, Raposos, Belo Horizonte, Ibirité, Sarzedo e Mario Campos, foi uma peça-chave no entendimento dos sistemas aquíferos na região (Figura 28). O trabalho incluiu a compilação meticulosa de dados provenientes das empresas mineradoras, bem como dos relatórios das empresas de consultoria. Um dos pontos destacados foi o uso de informações dos poços tubulares profundos, que permitiram uma caracterização detalhada dos aquíferos na área.

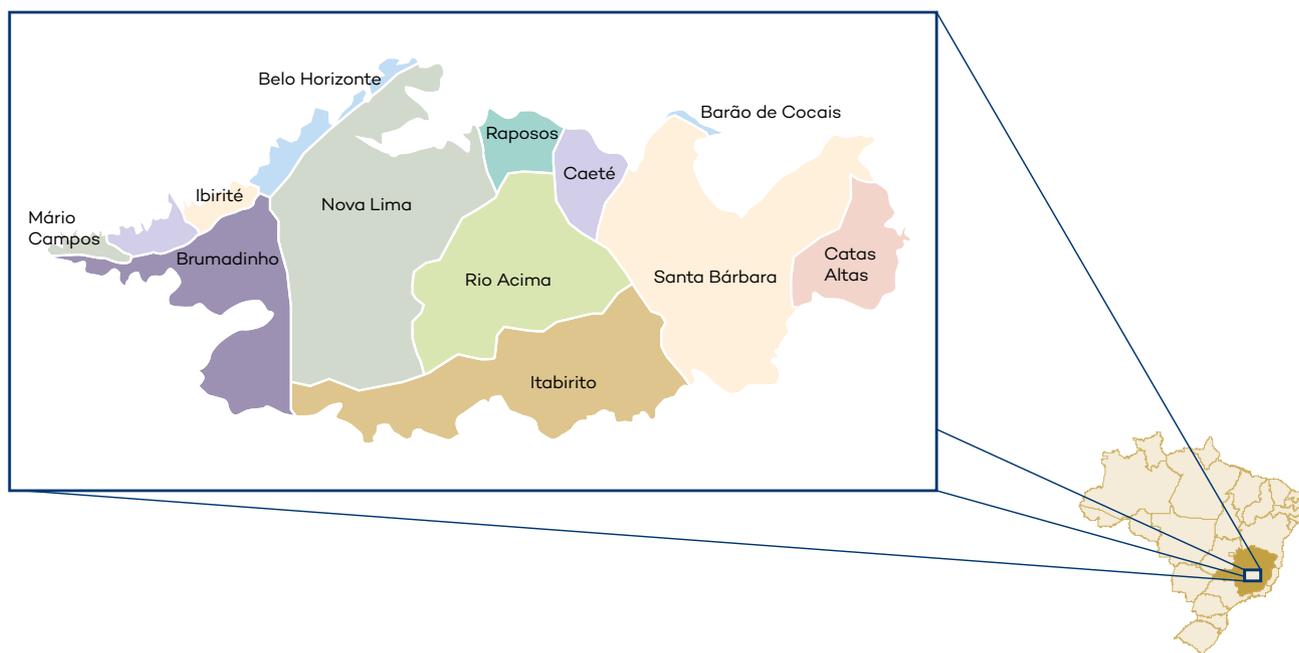


Figura 28: Mapa de localização da APA sul RMBH.

Uma das contribuições mais notáveis desse estudo foi a criação de mapas hidrogeológicos detalhados para áreas específicas, como os Blocos Brumadinho, Rio Acima e Acurui (Figura 29, 30 e 31), ilustrando claramente a complexidade dos sistemas hidrogeológicos na região. Esses mapas, juntamente com dados de monitoramento abrangentes, estudos de hidroquímica e análises de isótopos ambientais, representam uma fonte rica de informações científicas.

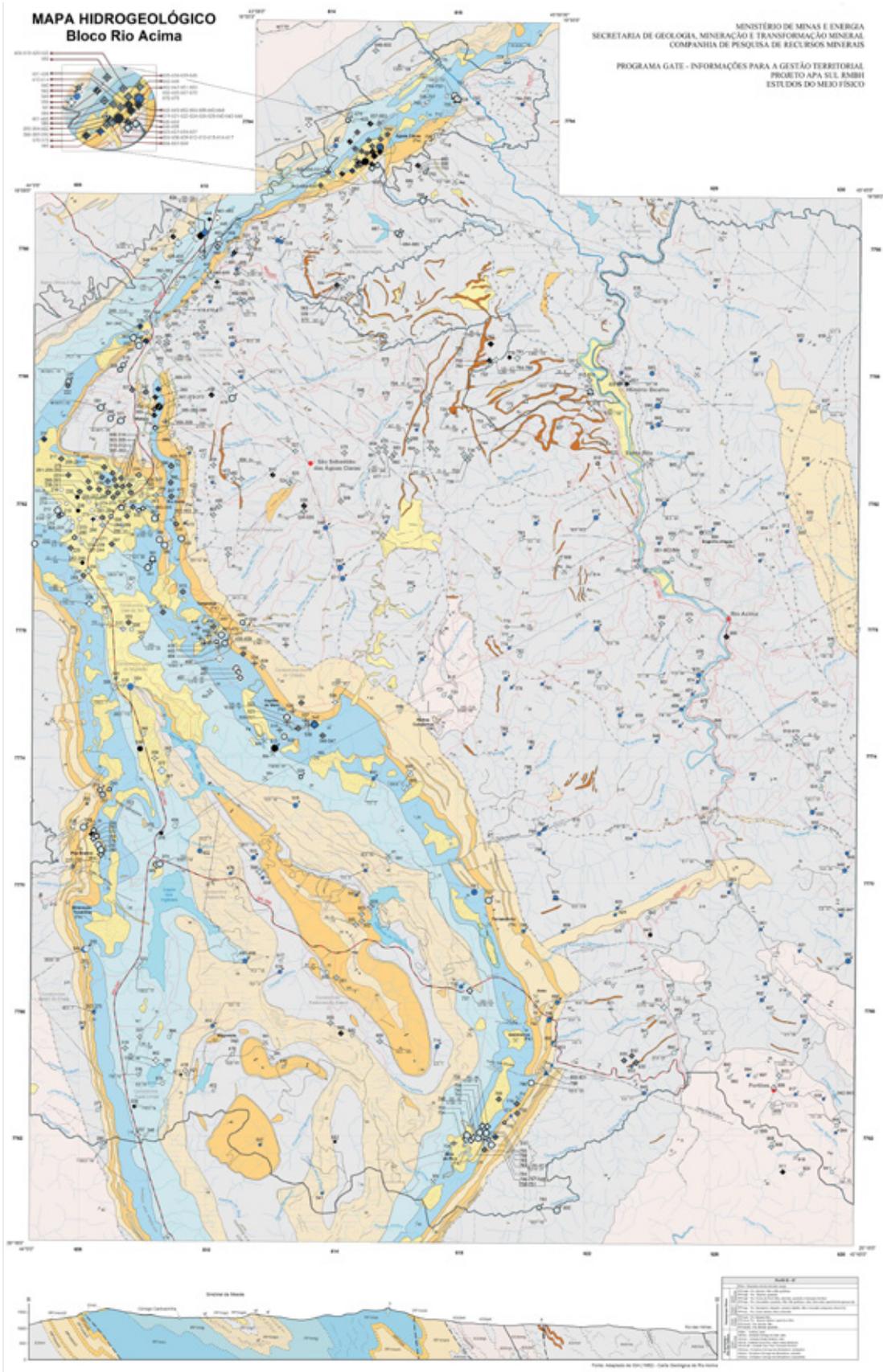


Figura 30: Bloco Rio Acima.

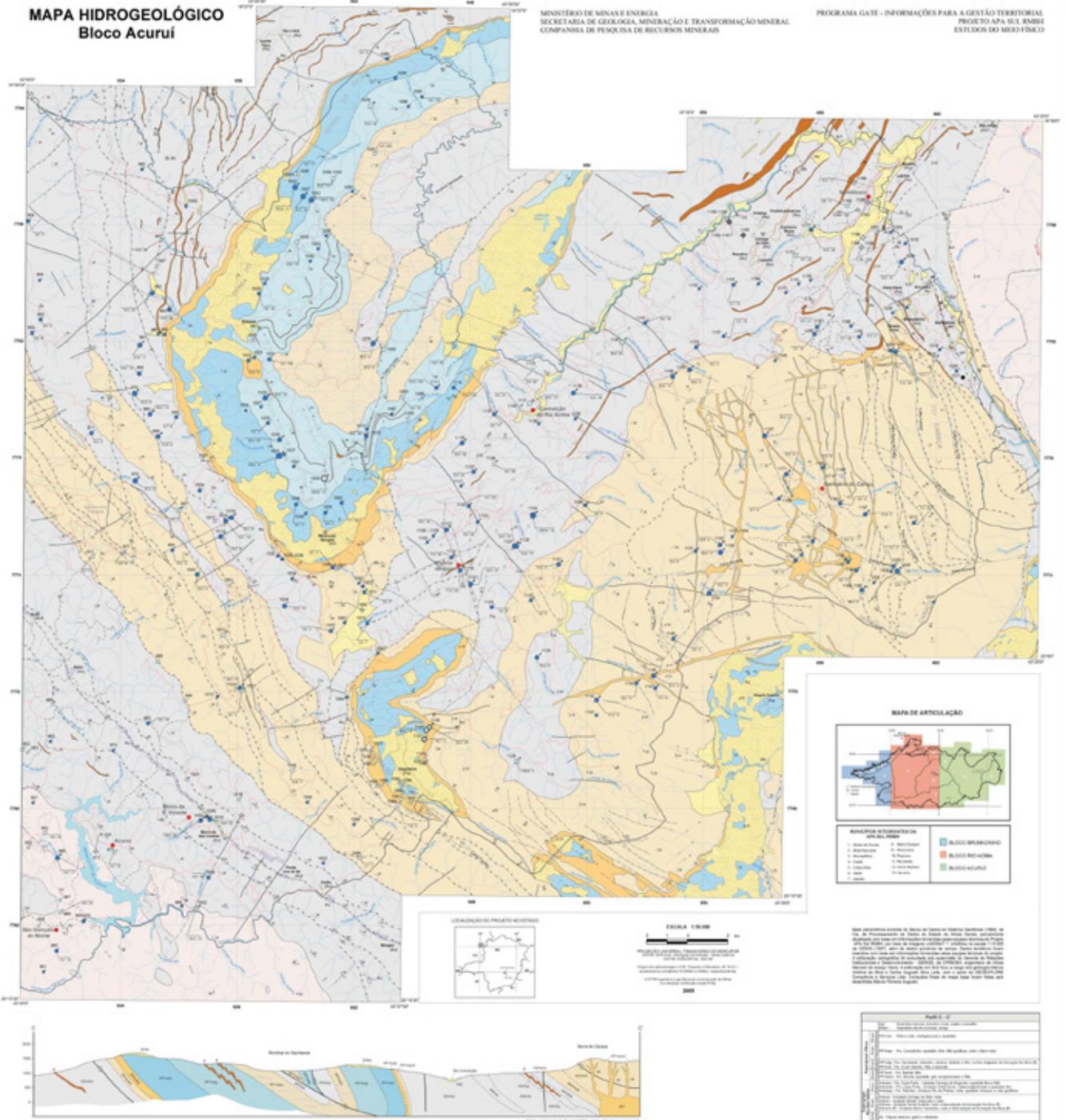


Figura 31: Bloco Acuruí.

Essas informações foram disponibilizadas ao público de forma detalhada no site do Serviço Geológico do Brasil, SGB, permitindo que esse conhecimento esteja acessível a pesquisadores, profissionais da indústria e interessados em geral. Esse compartilhamento de dados é fato muito significativo e vital para o avanço contínuo dos estudos sobre a hidrogeologia da região, proporcionando uma base sólida para pesquisas futuras e um melhor entendimento dos recursos hídricos subterrâneos em áreas de atividade mineradora.

Além do Quadrilátero Ferrífero/MG, a província mineral de Carajás, no Pará, com a mina de ferro N4E de Serra Norte, que se tornou o primeiro grande desafio, pelo seu porte, também propiciou o entendimento da importância do gerenciamento das águas subterrâneas para a mineração. Nos anos 2000, com a implementação de outra grande mina de ferro na Serra Sul de Carajás, a S11D, surgiu um novo desafio, pela operação com o sistema truckless (britagem móvel e transporte por correias) o que demandou um pré-rebaixamento, ainda mais complexo, que exigiu maior esmero em sua execução.

As operações das minas de ouro também exigiram conhecimento e desenvolvimento tecnológico no campo da hidrogeologia, a exemplo da mina Igarapé Bahia/BA na segunda metade dos anos 1990 e de Serra Pelada/PA, por volta de 1982, que demandaram estudos detalhados, pois possuíam depósitos supergênicos³⁵ e demandavam bombeamento de vazões consideráveis de água subterrânea.

Diferentemente de minas como Igarapé Bahia e Serra Pelada, outros tipos de depósitos de ouro indicaram a necessidade de novas abordagens, especialmente para o minério associado a sulfetos. Nesse contexto geológico específico, a hidrogeologia desempenha um papel crucial. Nessas minas, além da demanda por desaguamento surge um desafio adicional: a drenagem ácida de mina. Esse processo pode solubilizar metais e outros elementos tóxicos, como o arsênio, exigindo uma série de ações no campo da hidrogeologia, tanto em minas em operação quanto em minas em desativação.

A complexidade desse problema levou ao aprimoramento das técnicas hidrogeológicas. As abordagens tradicionais de rebaixamento de nível d'água tiveram que ser adaptadas para lidarem com a drenagem ácida de mina. Isso incluiu o desenvolvimento de estratégias inovadoras na drenagem de taludes e o refinamento do entendimento do fluxo subterrâneo em barragens de rejeitos, por meio do uso de modelamento numérico de fluxo.

35 Os minérios de enriquecimento supergênico são aqueles cujo teor aumenta a partir da lixiviação causada pelo intemperismo ou pela percolação de águas subterrâneas de circulação profunda.

Praticamente todas as barragens em operação ou em descomissionamento têm modelos numéricos de fluxo de água subterrânea em três dimensões.

Essa adaptação refinada das técnicas foi essencial para enfrentar os desafios específicos relacionados à drenagem ácida de mina, garantindo não apenas a segurança operacional das minas, mas também a proteção ambiental das áreas circundantes e das comunidades locais.

Além disso, houve uma expansão significativa na abrangência dos estudos hidrogeológicos. Além de lidar com a drenagem ácida de mina, os especialistas passaram a realizar avaliações hidrogeoquímicas mais complexas. Isso incluiu o uso de técnicas preditivas avançadas para avaliação do potencial de geração de drenagem ácida, ampliando o escopo dos estudos para incluir não apenas as cavas, mas também as pilhas e barragens.

Manter redes de monitoramento robustas tornou-se fundamental para a avaliação contínua da qualidade das águas subterrâneas. Significou também a definição do *background* hidroquímico, que representa o estado natural das águas subterrâneas na região, uma prática hoje fundamental. Essas medidas são indispensáveis para assegurar não apenas a segurança operacional das minas, mas também a proteção das comunidades vizinhas. Esse progresso representou um avanço técnico na hidrogeologia da mineração e uma garantia para um futuro sustentável e equilibrado para a indústria e as comunidades ao seu redor.

■ 2.4.6 Avanço na legislação e regulação

Nos anos 2000, o Brasil testemunhou um avanço notável na regulamentação que dispõe sobre a relação entre as águas subterrâneas e a atividade minerária. Esse progresso foi catalisado por dois seminários realizados em Belo Horizonte, nos quais diversas entidades e profissionais desempenharam papéis cruciais. Entre as organizações e empresas envolvidas estavam pesos-pesados como a ABAS (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas), ABRHidro (Associação Brasileira de Recursos Hídricos), ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária), IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), COPASA (Companhia Estadual de Saneamento de Minas Gerais), MPE (Ministério Público do Estado de Minas Gerais) e DNPM – SC (Departamento Nacional da Produção Mineral – Núcleo de Santa Catarina). Além disso estiveram presentes representantes da indústria mineradora, a época, como a MBR (Minerações Brasileiras Reunidas), a então CVRD (Companhia Vale do Rio Doce) e a CSN (Companhia Siderúrgica Nacional), dentre outras empresas de destaque.

Esses seminários foram fundamentais para promover discussões profundas sobre as questões envolvendo as águas subterrâneas e a mineração. Os profissionais e especialistas dessas entidades contribuíram para a formulação de regulamentações mais sólidas e adaptáveis, levando-se em consideração a complexidade dos desafios enfrentados pela indústria de mineração.

Durante os seminários, foram realizados debates detalhados sobre o processo de rebaixamento do nível d'água na mineração, resultando na criação, no âmbito do IGAM, de outorgas para dois importantes tipos de uso das águas, de forma pioneira no Brasil, conforme descrição a seguir.

Captação de água subterrânea para fins de pesquisa hidrogeológica

- Esse tipo de outorga estabeleceu diretrizes específicas para a captação de água subterrânea com a finalidade de pesquisa hidrogeológica. Definiu procedimentos e critérios para a utilização desse recurso em estudos relacionados à hidrogeologia, incluindo a necessidade de um plano de uso da água subterrânea proveniente da pesquisa hidrogeológica, que contemple as finalidades, vazões e formas de adução.

Captação de água subterrânea para fins de rebaixamento de nível de água para mineração

- Essa outorga foi especialmente relevante para regulamentar o rebaixamento do nível d'água nas minerações de ferro. Ela estabeleceu procedimentos e diretrizes para garantir que as mineradoras pudessem cumprir as regras sem afetar adversamente o desaguamento. Antes disso, as outorgas para captação de água subterrânea eram concedidas com base nas mesmas regras das outorgas para abastecimento público, industrial, rural e outras atividades, que não requerem demanda contínua de operação das estruturas de captação.

Esses avanços na legislação representaram um grande passo na regulamentação da relação entre a mineração e a água subterrânea. No entanto, também trouxeram à tona desafios significativos relacionados à gestão adequada desse recurso.

Um dos desafios notáveis é a necessidade de considerar a capacidade de recarga do aquífero ao estabelecer as outorgas para a captação de água subterrânea. Isso é importante porque as instalações industriais operam 24 horas por dia, e as outorgas não podem ser baseadas apenas em ensaios de bombeamento de 24 horas. É necessário um entendimento mais profundo da capacidade do aquífero para garantir um uso sustentável da água subterrânea.

A pesquisa hidrogeológica desempenha um papel fundamental nesse processo, pois é a partir dela que é possível determinar a possibilidade, ou não, de impactos na disponibilidade dos recursos hídricos e possíveis impactos ambientais durante o rebaixamento do nível d'água e no descomissionamento da mineração. A elaboração de um plano de uso da água subterrânea, conforme estipulado pela outorga de pesquisa hidrogeológica, é essencial para assegurar que os impactos negativos sejam minimizados e que haja um entendimento mútuo entre as partes envolvidas, incluindo as comunidades locais.

Todos os avanços dessas pesquisas hidrogeológicas demonstraram ser essenciais não somente para aplicação na atividade de mineração, mas em diversas atividades que demandem utilização elevada de água subterrânea, tais como os projetos urbanísticos. Como exemplo, a Centralidade Sul de Belo Horizonte, um grande projeto urbanístico em desenvolvimento na região metropolitana de BH, para o qual é aplicado todo o conhecimento acumulado da hidrogeologia, para avaliação dos impactos desse empreendimento sobre as disponibilidades hídricas. Para tal, estão sendo feitas simulações numéricas com vistas a garantir o abastecimento sustentável de até 94 mil habitantes com água subterrânea do aquífero Cauê. Tais simulações são realizadas em etapas, de acordo com as fases de implantação do projeto, considerando-se do menor até o maior nível de ocupação populacional. Estão sendo realizadas também atividades de monitoramento organizadas de forma semelhante à efetuada no contexto da mineração, fazendo com que seja aplicada uma pesquisa hidrogeológica contínua, avaliando a viabilidade do abastecimento, etapa por etapa, com foco no uso das águas subterrâneas.

Os avanços na regulamentação das águas subterrâneas e os estudos dela decorrentes resultam do compromisso em equilibrar as necessidades da indústria de mineração com a preservação dos recursos hídricos e a proteção ambiental. O processo contínuo de adaptação e melhoria na regulamentação é essencial para garantir que a relação entre a água subterrânea e a mineração continue a evoluir de maneira sustentável e equilibrada, beneficiando tanto a indústria quanto as comunidades e o meio ambiente.

■ 2.4.7 Conclusão/desafios futuros

Sem sombra de dúvidas, relativamente à atividade minerária e à sua relação com as águas subterrâneas, um dos mais importantes desafios que surgem está associado à lavra dos chamados minerais estratégicos, a exemplo do lítio, para utilização da fabricação de carros elétricos, considerados como alternativas para o transporte de baixo carbono, se

não no Brasil devido à sua pujança no que se refere aos biocombustíveis, mas, no mundo, já uma realidade. Das baterias aos motores, na fabricação desses veículos tudo vem da mineração, envolvendo uma boa parte dos minérios sulfetados. Assim, especial atenção deverá ser dada a questão da drenagem ácida ou mesmo neutra (quando ocorre a drenagem ácida, mas essa é tamponada, precipitando alguns metais, mas deixando muito sulfato solúvel na água subterrânea).

Fora dessa agenda de transição energética, outros desafios técnicos, como por exemplo a questão do peneiramento a seco do minério de ferro de alto teor, também se apresentam, e suscitam a pergunta: como a hidrogeologia poderá contribuir para a questão do tratamento de minério?

Existe sim essa possibilidade, pois o peneiramento a seco opera bem até um determinado limite no teor de umidade do minério, e os modernos modelos numéricos de fluxo conseguem simular essa umidade, ou seja, a água no meio não saturado. Ao aplicar esses modelos, será possível aprimorar as respostas sobre o tempo necessário para a execução do pré-rebaixamento de uma frente de lavra, para que o minério chegue na usina com umidade ideal. As informações já existem, tanto nas frentes de lavra quanto nas usinas, bem como no monitoramento do desaguamento. A questão é compilar, cruzar essas informações, processar, simular e aprimorar uma nova metodologia, mais sustentável.

Essa jornada de colaboração e evolução contínua entre o conhecimento referente às águas subterrâneas e a mineração desempenhou, e ainda deverá desempenhar, um papel essencial na condução das atividades minerárias, no Brasil. À medida que enfrentamos desafios ambientais cada vez mais complexos e buscamos um desenvolvimento sustentável, a compreensão e o gerenciamento adequado dos recursos hídricos representam papel vital para garantir um futuro próspero e equilibrado tanto para a indústria quanto para as comunidades circunvizinhas.

2.5 Indicadores de usos da água na mineração

- David Veiga Soares³⁶
- Renata Gaudereto Andries³⁷
- Bruno Santos Ferraz³⁸
- Guilherme Alves de Melo³⁹

■ 2.5.1 Introdução

Nos últimos anos, temos testemunhado um aumento significativo no número de empresas que buscam incutir princípios de sustentabilidade em seus negócios, sendo os esforços empreendidos medidos e monitorados por meio de indicadores. Estes indicadores desempenham um papel essencial na gestão eficiente de atividades, recursos e processos, revelando a eficácia e evolução dessas práticas para as partes interessadas.

Sendo o recurso hídrico insumo fundamental na mineração e presente em todas as fases dos empreendimentos, desde o projeto conceitual até o uso futuro, a consideração de indicadores relacionados à água emerge como uma medida indispensável para garantir a perenidade dos negócios nesse setor dinâmico.

Como ilustração, apresenta-se na Figura 32, de forma simplificada, o caminho do minério e da água na mineração.

36 David Veiga Soares - Analista Meio Ambiente Especialista. Email: david.soares@vale.com

37 Renata Gaudereto Andries. Analista Meio Ambiente Master. Email: renata.andries@vale.com

38 Bruno Santos Ferraz - Diretor Meio Ambiente. bruno.ferraz@vale.com

39 Guilherme Alves de Melo. Gerente Suporte Técnico Operações. Email: guilherme.alves@vale.com



Figura 32: Esquema exemplificativo do uso da água nas diversas etapas de uma mineração de minério de ferro.

No contexto desafiador do gerenciamento de recursos hídricos na mineração, torna-se essencial investir em uma rede de monitoramento hídrico quali-quantitativo para compreender sua complexidade. Ao dimensionar essa rede, é crucial considerar não apenas as interferências das atividades mineradoras, mas também as influências externas de outros usuários na

extensão da bacia hidrográfica onde o empreendimento está situado. Essa abordagem permite uma análise abrangente dos fatores quantitativos, como disponibilidades, fontes de água, usos, reutilizações e saídas, incluindo os parâmetros de qualidade da água.

Ressalta-se que não basta apenas implementar a rede de monitoramento; é igualmente importante contar com profissionais qualificados, infraestrutura adequada, instrumentação precisa, manutenção regular e uma avaliação cuidadosa dos instrumentos e ferramentas para análise e interpretação dos resultados. Se ambas as premissas, ou seja, uma rede de monitoramento bem estruturada e profissionais capacitados, não forem atendidas, o resultado poderá ser um banco de dados inconsistente e incapaz de gerar indicadores eficazes para a gestão dos recursos hídricos.

No presente capítulo, exploraremos a perspectiva dos indicadores associados ao balanço hídrico, fundamentados na interpretação das diretrizes do ICMM (Conselho Internacional de Mineração e Metais), adaptadas pelo IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração) e suas empresas associadas.

■ 2.5.2 Contexto

Em 2012, o Conselho Mineral da Austrália desenvolveu uma padronização de cálculo de balanço hídrico intitulada *Water Accounting Framework* (WAF), publicada formalmente com o manual: *Water Accounting Framework for the Minerals Industry* (SMI/MCA, 2014). Nos anos seguintes esse manual passou a ser diretamente utilizado em diversas companhias de produtos minerais e embasou diversos outros guias técnicos, como a primeira edição do *Practical Guide to Consistent Water Reporting*, publicado em 2017 pelo Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM).

No mesmo ano, a Declaração de Posição “*Water Stewardship*” (ICMM, 2017) exigiu que os membros aplicassem uma governança corporativa forte e transparente da água, inclusive relatando publicamente o desempenho hídrico da empresa, os riscos materiais, as oportunidades e a resposta da gestão usando métricas consistentes do setor e abordagens reconhecidas.

No ano 2018, a Vale publicou sua meta “Água Global” alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) e com as diretrizes do Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM). Tal meta determinou uma redução de 10% do uso de água nova por tonelada de Ferro Equivalente ($\text{m}^3/\text{t FeEq}$) em relação ao ano-base 2017.

Um ano depois, o IBRAM liderou o movimento no setor para propor estratégias e um plano de ação, criando grupos de trabalho (GT) temáticos.

O GT de recursos hídricos (GT 10 Água) foi instituído em 2020, com três objetivos principais:

- 1.** Estabelecer metodologia uniforme para definir indicadores de performance do uso e do consumo de água, definindo metas de redução gradativas, publicamente explicitadas;
- 2.** Tornar públicas e disponíveis as informações de uso, consumo e qualidade das águas e efluentes na indústria da mineração;
- 3.** Participar efetivamente e apoiar os comitês de bacia hidrográfica, ampliando-se o escopo de atuação para incorporar estudos associados a mudanças climáticas e propor ações estratégicas para o setor e a sociedade em geral.

Em 2021, o ICMM publicou a atualização do *Practical Guide to Consistent Water Reporting*, recebendo o título de *Water Reporting: Good Practice Guide, 2nd Edition* (ICMM, 2023). De forma geral, o guia do ICMM trouxe compromissos mínimos de divulgação de métricas relacionadas à interação da água com a mineração, conceituando e exemplificando, de forma detalhada, o cálculo do balanço hídrico operacional. Diversas empresas de mineração adotam de forma parcial ou integral as diretrizes publicadas pelo ICMM, como forma de balizar as políticas internas de gestão, e referenciar e validar as informações disponibilizadas em seus relatórios de sustentabilidade no Brasil e no mundo. Além de fazer referência à entidade, algumas dessas empresas de mineração e associações do setor figuram como membros do Conselho, como é o caso da Vale e do IBRAM.

Ainda em 2021, o resultado global acumulado da “Meta Água Vale 2030” superou o objetivo inicial estabelecido e em 2022 foram definidos novos indicadores, considerando-se a tendência para definição de metas corporativas do setor produtivo. O IBRAM, por meio do GT Água, alinhou os conceitos e os critérios de cálculo do balanço hídrico e estabeleceu como referência uma meta de redução do uso específico de água nova pela tonelada do *run of mine* (ROM) para as empresas do setor mineral. Este indicador irá refletir o resultado das empresas associadas que aderiram a esse propósito, e seu acompanhamento será por meio de plataforma desenvolvida pelo IBRAM em 2023.

No contexto apresentado, ressalta-se a relevância de uma avaliação criteriosa na elaboração e padronização do balanço hídrico na mineração, visando à obtenção de resultados consistentes. Vale salientar que a padronização nesse setor é desafiadora, principalmente devido aos avanços tecnológicos, a ampla abrangência territorial e sua alta dinamicidade. Ademais, há variações culturais relacionadas ao uso da água em diferentes

países, o que resulta em divergências nos conceitos, nas denominações e nos critérios de cálculo.

Na Figura 33 apresenta-se a linha do tempo indicando os principais resultados, atividades, publicação e ações executadas em prol do padrão dos conceitos para estabelecimento dos indicadores.



Figura 33: Linha do tempo para o desenvolvimento dos Padrões e critérios para o cálculo do balanço hídrico.

2.5.3 Descrição técnica

Para desenvolver um conjunto robusto de métricas relacionadas à água, deve-se estabelecer escalas, condições de contorno, premissas e conceitos. Esse processo visa capturar de maneira adequada a diversidade de contextos operacionais, apresentando-as de forma comparável e passível de análise. Nos próximos itens, exploraremos em detalhes cada componente desse processo, fornecendo diretrizes práticas para a construção de métricas hídricas que reflitam o compromisso com a sustentabilidade e a gestão responsável de recursos naturais.

2.5.3.1 Limites hídricos espaciais

No contexto da contabilização e avaliação da água, os limites espaciais desempenham um papel fundamental ao definir o que deve ser considerado de uma perspectiva geográfica, física ou legal. Três categorias de limites espaciais são comumente contempladas nesse processo: **o Limite de Captação de Água, o Limite Operacional e o Limite do Sistema Hídrico Operacional**. Cada um desses limites desempenha um papel específico, delineando claramente as áreas de interesse e influência, conforme ilustrado na Figura 34.

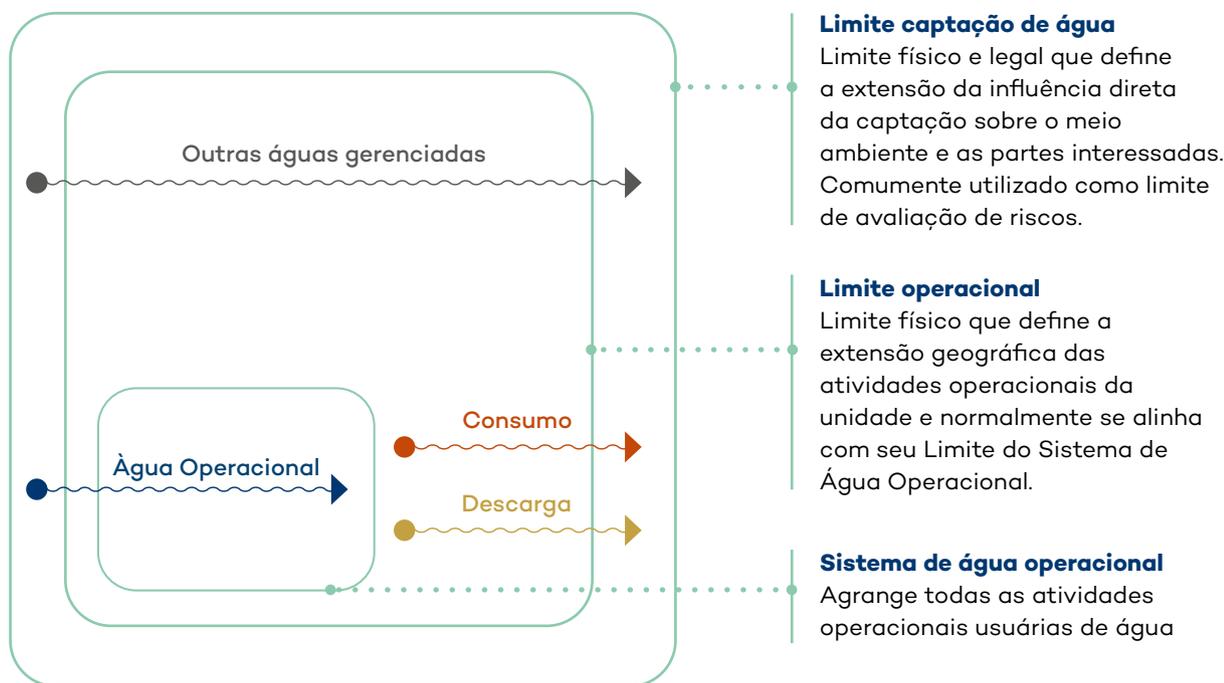


Figura 34: Limite hídrico operacional adaptado do guia ICMM, 2023. Fonte: *Water Reporting: Good Practice Guide*, 2nd Edition (ICMM, 2023).

2.5.3.2 Conceitos

Nesse item, exploramos os conceitos e indicadores de desempenho adotados pela Vale para o cálculo do balanço hídrico, com foco na padronização na mineração e na geração de dados consistentes. Consideramos a natureza dinâmica do setor e a influência das diferenças culturais no uso da água em diferentes países, o que se reflete em variados conceitos, termos e critérios de cálculo. Essa análise atenta proporciona uma compreensão mais holística, essencial para garantir a qualidade e relevância dos indicadores, promovendo assim uma gestão hídrica alinhada com as nuances presentes em contextos globais diversificados. Nas Tabelas 3 e Tabela 4, apresentamos alguns conceitos-chave adotados pela Vale, sendo a última tabela composta pelos conceitos adaptados conforme a interpretação mais comumente utilizada do balanço hídrico, com foco nas atividades de mineração no Brasil.

Tabela 3: Conceitos relacionados ao balanço hídrico adotados pela Vale.

Conceito	Definição
Água operacional	Parcela de primeiro uso de qualquer atividade (água superficial, subterrânea e de aproveitamento de chuva que ainda não tenha sido utilizada na unidade operacional), bem como água proveniente de terceiros, como empresas de abastecimento e efluentes tratados;
Água para reúso	Água utilizada mais de uma vez, sem tratamento;
Água Reciclada	Água utilizada mais de uma vez, após tratamento;
Água Renovada	Efluente tratado de fontes externas utilizado nos empreendimentos minerários da Vale, como por exemplo, efluente municipal tratado disponibilizado para uso nos processos da Vale, e vice-versa;
Água Subterrânea	Águas que ocorrem no subsolo, na zona saturada;
Água Superficial	Águas que ocorrem na superfície terrestre, tais como córregos, rios, lagos, estuários, pântanos e oceanos;
Alimentação da Usina	Todo o minério extraído de mina (run of mine – ROM) que se destina ao processo de beneficiamento, podendo ser próprio ou de terceiros ou material medido na entrada da usina;
Aproveitamento de água de chuva	Refere-se à captação da precipitação em áreas operacionais, como pilhas de estéril, pátios de estocagem e telhados de prédios, com o objetivo de utilizá-la nas operações da unidade;

Conceito	Definição
Atividade Operacional	Ações/processos operacionais que usam água (exemplo beneficiamento, controles ambientais, e disposição de estéril e rejeitos);
Bacia hidrogeológica	É aquela região geográfica em que as águas subterrâneas escoam a um só exutório. Pode não coincidir com a bacia hidrográfica;
Bacia hidrográfica	Área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório;
Balanço Hídrico	Modelo que descreve e quantifica a dinâmica do fluxo de um sistema ao longo de um determinado período, onde as entradas de água para o sistema devem ser iguais a todas as saídas de água do sistema, mais qualquer alteração dos volumes armazenados. Os balanços hídricos podem ser desenvolvidos em diferentes escalas para diferentes propósitos operacionais de gestão, otimização e planejamento;
Consumo operacional	É a parcela da água operacional que após seu uso fica indisponível para outro uso (exemplo água retida no rejeito, evaporação operacional etc.);
Demanda de água	Representa a vazão total requerida por uma determinada atividade durante um determinado período, podendo englobar parcelas de água operacional, reutilizada e reciclada;
Descarte de efluentes	Ação pela qual se destinam os efluentes ao meio ambiente;
Disponibilidade Operacional	É a capacidade instalada para suprir as demandas de água operacional, seja das fontes que requerem outorga ou não;
Eficiência Hídrica	É o volume de água utilizado em uma atividade operacional com a quantidade mínima praticável;
Escassez hídrica	É a indisponibilidade da água em quantidade;
Estresse hídrico	É a inacessibilidade da água em quantidade e qualidade para as demandas humanas e ecológicas;
Gestão Responsável dos Recursos Hídricos	Uso racional da água socialmente e culturalmente equitativo, ambientalmente sustentável e economicamente benéfico, alcançado por meio de um processo inclusivo das partes interessadas e considerando a bacia hidrográfica;

Conceito	Definição
KPI	Métrica utilizada para a mensuração do desempenho de uma estratégia e de processos de gestão. O key performance indicator (kpi) também pode ser conhecido como indicador-chave de desempenho;
Outras águas gerenciadas	Água que é gerenciada ativamente (por exemplo bombeada fisicamente, tratada ativamente ou com perdas de consumo material) e não utilizada para suprir a demanda operacional de água;
Uso de água	Refere-se ao uso da água apenas uma vez, ou seja, sem reutilização.
Uso Específico	É a razão entre o volume de água utilizado em determinada atividade e a sua unidade de desempenho (exemplo: produto, ROM, alimentação de usina, transporte, pessoas, área umectada);

Considerando o Guia publicado pelo ICMM e a realidade das operações mineradoras, algumas definições foram ajustadas para oferecer uma visão precisa do desempenho hídrico das atividades operacionais relacionadas à mineração. Seguem abaixo as adaptações realizadas:

Tabela 4: Conceitos relacionados ao balanço hídrico adaptados e adotados pela Vale.

Conceito	Definição
Barragem de Rejeitos	A barragem de rejeitos é considerada como uma estrutura de armazenamento e tratamento de água, e não de uso de água. Segundo Bissacot (2016), a barragem de rejeitos não é uma atividade que requer água para operar, logo o volume de entrada não deverá ser contabilizado como uso. Ou seja, a simples entrada de água na barragem não caracteriza uso. Desta forma, apenas a fração de água captada é considerada como Retirada de Água Operacional.
Evaporação em Barragem de Rejeitos	O volume de água evaporado da barragem de rejeitos não é contabilizado como consumo da operação. Assim, o volume de água evaporado em barramentos é contabilizado no campo “Saída de Outras águas gerenciadas”.

■ 2.5.3.3 Seleção das fontes de água

Uma gestão responsável do recurso hídrico na mineração requer uma abordagem cuidadosa e criteriosa para priorizar fontes de água menos críticas e aquelas ainda não sujeitas a conflitos de uso, assegurando o abastecimento das atividades operacionais com a qualidade necessária para cada aplicação específica. Com o intuito de estabelecer uma ordem de prioridade, apresentamos a seguir três grupos distintos:

Fontes Sustentáveis: Envolvem práticas como dessalinização, o uso de efluentes tratados provenientes de fontes externas e o aproveitamento da água da chuva. Essas opções destacam-se por sua abordagem sustentável, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos.

Águas de Segundo Uso: Incluem águas que, após seu primeiro uso em determinada atividade operacional, são destinadas a um segundo uso, como reúso, reciclagem, recirculação e recuperação. Essa categoria representa uma estratégia eficiente de maximizar o aproveitamento das águas já utilizadas.

Fontes Convencionais: São as águas doces superficiais (rios, lagos, canais etc) e subterrâneas (lençóis subterrâneos). Neste item recomenda-se a priorização de águas superficiais e/ou subterrâneas outorgadas pelo empreendimento, evitando, sempre que possível, a utilização de águas fornecidas pelas concessionárias de abastecimento público, com exceção ao consumo humano. Essa abordagem visa otimizar o uso de recursos locais e reduzir a dependência de água tratada de fontes externas.

Ao considerar esses grupos e estabelecer prioridades, a mineração pode não apenas atender às suas necessidades operacionais, mas também contribuir ativamente para a sustentabilidade ambiental e o uso eficiente da água.

■ 2.5.3.4 Precisão da informação

No âmbito da gestão hídrica, é de suma importância ressaltar que a confiabilidade dos indicadores de desempenho está intrinsecamente vinculada à precisão da informação. Na Vale, estabeleceu-se uma classificação de precisão em três níveis, a saber:

Fluxos Medidos: Englobam dados provenientes de instrumentos de medição rigorosamente verificados e calibrados, como medidores de vazão, calhas Parshall e lisímetros. Essa categoria representa um alto grau de precisão, fundamentado em instrumentação confiável.

Fluxos Simulados: Compreendem dados obtidos por meio de modelos, exemplificado pela simulação de precipitação e escoamento por modelos hidrológicos calibrados. Essa abordagem, embora envolva alguma modelagem, ainda mantém um padrão significativo de precisão.

Fluxos Estimados: Incluem dados derivados de cálculos matemáticos, nos quais os parâmetros são estimados. Exemplos dessa categoria abrangem a diferença de fluxos, o número de viagens e a capacidade do tanque do caminhão-pipa, bem como valores de projeto. Embora essa categoria possa envolver alguma margem de estimativa, mantemos uma abordagem cuidadosa para assegurar resultados coerentes.

A compreensão do grau de precisão das medições que alimentam os indicadores hídricos desempenha um papel fundamental na orientação estratégica para investimentos em monitoramento, manutenção, sistemas e infraestrutura. Além disso, a confiabilidade dos dados e indicadores nos relatórios públicos é vital para cultivar relacionamentos positivos com nossas partes interessadas, promovendo não apenas a transparência, mas também fortalecendo a credibilidade da empresa na sociedade e nos mercados.

■ 2.5.4 Balanço hídrico

Considerando as premissas e conceitos iniciais, o balanço hídrico operacional se revela uma ferramenta indispensável na gestão operacional da água. Sua função primordial é otimizar o desempenho operacional, gerenciar riscos e fornecer informações para decisões estratégicas de negócios. Através desse entendimento, torna-se possível, por exemplo:

- Compreender a demanda e disponibilidade de água: Analisar tanto a demanda atual quanto as projeções futuras, identificando requisitos de capacidade da infraestrutura, restrições de qualidade da água, necessidades de tratamento ou armazenamento, além de quantidades e qualidades dos descartes de efluentes;
- Avaliar impactos ambientais e estratégias de mitigação: Avaliar potenciais impactos ambientais decorrentes das operações e desenvolver estratégias de gestão e mitigação apropriadas. Isso contribui para a sustentabilidade ambiental das práticas operacionais;
- Analisar possibilidades de gestão da água: Avaliar possibilidades de gestão da água para diferentes cenários, como variações operacionais, climáticas ou de captação. Essa análise possibilita a tomada de decisões informadas diante de diferentes contextos, facilitando a seleção da alternativa mais adequada de gestão da água.

Para elaborar o balanço hídrico, primeiramente é fundamental mapear todos os elementos, como por exemplo: as fontes, os usos, os fluxos, os descartes, as perdas etc. Após este levantamento, o fluxograma de balanço hídrico da unidade operacional deve ser elaborado ou atualizado considerando as disponibilidades, captações, usos e saídas (Figura 35).

Nota: A estratificação do fluxograma é particular de cada unidade operacional.

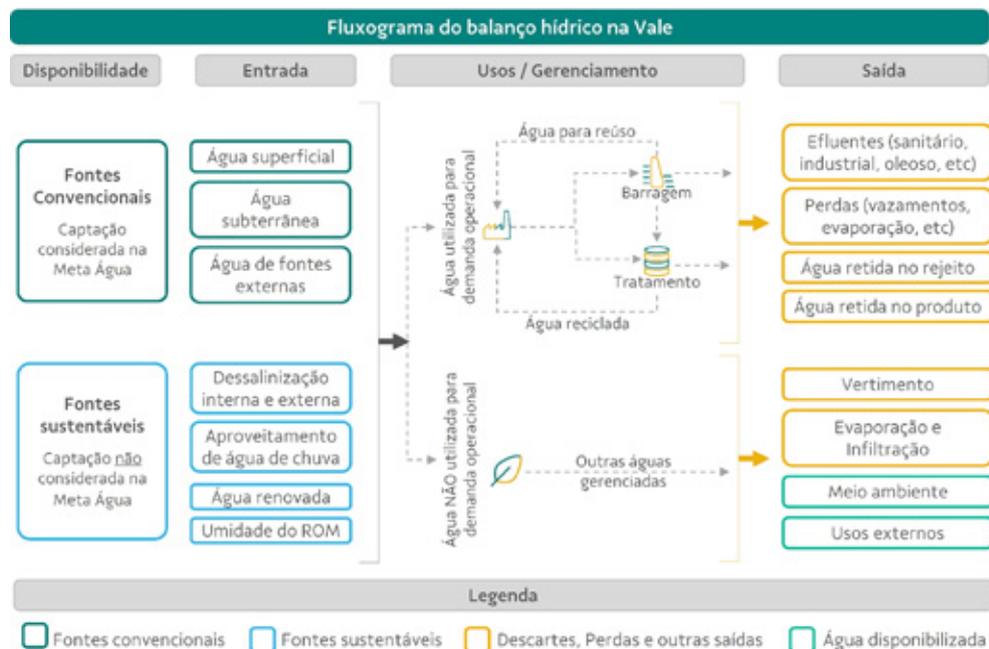


Figura 35: Fluxograma esquemático do balanço hídrico.

A fim de proporcionar um entendimento mais claro e prático do balanço hídrico operacional, apresentaremos nos itens a seguir dois exemplos de situações hipotéticas, detalhando a contabilização das entradas e saídas de água dentro do sistema. As premissas adotadas nesses exemplos incluem:

Atendimento aos Requisitos de Qualidade da Água: Garantia que a água atenda aos padrões de qualidade necessários tanto para o processo industrial quanto para preservação ambiental. Essa consideração é fundamental para assegurar o cumprimento das regulamentações e a responsabilidade ambiental.

Desconsideração de Perdas no Sistema: Para simplificar a análise, optou-se por desconsiderar perdas, tais como vazamentos, evaporação, infiltração, entre outros. Essa abordagem pressupõe um sistema perfeito, onde todas as entradas e saídas são contabilizadas de maneira precisa.

Os exemplos proporcionarão uma visão prática de como as variáveis são tratadas no contexto do balanço hídrico operacional, demonstrando como as entradas e saídas são gerenciadas e equilibradas, mesmo em condições hipotéticas ideais. Isso visa enriquecer a compreensão dos leitores sobre a aplicação e relevância dessa ferramenta na gestão eficiente da água em diversas situações operacionais.

■ 2.5.4.1 Exemplo 1: captação a fio d'água

Na Figura 36, apresentamos esquematicamente uma captação a fio d'água, na qual o rio é a única fonte de suprimento de água para a atividade operacional, com uma captação total de 1.000 m³. O consumo industrial, representado pelo volume de água operacional que se tornou indisponível para outros usos após sua utilização, foi de 100 m³. Dessa forma, o volume devolvido ao meio ambiente seria a diferença entre os 1.000 m³ captados e os 100 m³ consumidos, totalizando 900 m³.



Figura 36: Operação hipotética de captação a fio d'água.

Para o cálculo do uso específico, consideramos o volume de água captado para uso (1.000 m³) dividido pela unidade de desempenho, que neste contexto é definida como 20.000 toneladas de minério bruto (ROM) para o período analisado.

■ 2.5.4.2 Exemplo 2: captação a fio d'água com reservação

No cenário apresentado, as mesmas estruturas, volumes e produção do exemplo anterior foram considerados, entretanto, incorporou-se um reservatório ao balanço hídrico. A principal função deste reservatório é facilitar o reúso da água. Para uma compreensão mais aprofundada, o período analisado abrange dois anos, e as Figuras 37 e 38 esquematizam e detalham os resultados dos balanços hídricos referentes aos anos 1 e 2, respectivamente.



Figura 37: Operação hipotética de captação a fio d'água com reservação (Ano 1).

Percebe-se que neste ano a totalidade da água não consumida pela usina (900 m³) foi armazenada, ou seja, houve zero de descarte e o volume de saída do corpo hídrico foi de 9.000 m³. Além disso, percebe-se que o uso específico se manteve o mesmo, haja vista que o volume armazenado não entra em seu cálculo (uso específico considera apenas a água captada para uso). Assim, após a reservação, é possível fazer a reutilização da água no processo, esquema ilustrado a seguir:



Figura 38: Operação hipotética de captação a fio d'água com reservação (Ano 2).

No segundo ano do esquema apresentado, a captação para uso pela usina foi de apenas 100 m³, ao invés dos 1.000 m³ demandados no ano anterior, uma vez que a demanda de 900 m³ está sendo fornecida através da água para reúso captada do reservatório. Já o uso específico diminuiu 10 vezes, haja vista que a demanda operacional por água nova também diminuiu em 10 vezes. Assim, os ganhos observados no cenário com inclusão do reservatório foram a redução da captação de água no rio, o aumento da disponibilidade para os usuários de jusante, o reúso de 90% e a redução do uso específico.

A inclusão do reservatório representa uma abordagem estratégica para otimizar o uso da água, promovendo a sustentabilidade e a eficiência

hídrica nas operações. Através das figuras esquemáticas e resultados apresentados, exploramos como a presença desse reservatório impacta o balanço hídrico ao longo do tempo, destacando as nuances operacionais e os potenciais de melhoria na gestão dos recursos hídricos.

■ 2.5.5 Indicadores quantitativos

No contexto do planejamento estratégico para garantir a segurança hídrica, a adoção de indicadores quantitativos torna-se imperativa. Esses indicadores não apenas sustentam a eficácia das operações, mas também fornecem métricas comparáveis para relatórios externos, facilitando processos de comunicação transparentes. Na área de mineração e metalurgia, é estratégico possuir indicadores representativos para compreender de maneira abrangente e detalhada os volumes e qualidades da água associados ao local de operação.

A Vale, reconhecendo essa necessidade, adota um conjunto de indicadores cuidadosamente definidos, derivados dos resultados do balanço hídrico e das atividades operacionais. Esses indicadores fornecem informações valiosas sobre a gestão hídrica da empresa. A seguir, apresentam-se os principais indicadores adotados:

- **Disponibilidade Operacional (m³)**
Fontes Convencionais + Fontes Sustentáveis;
- **Demanda de Água (m³)**
Captações para uso + Reúso + Água Reciclada;
- **Reutilização (%)**
(Reúso + Água Reciclada) / Demanda de Água;
- **Descarte de Efluentes (m³)**
Descarte de Efluentes Industriais + Descarte de Efluentes Sanitários;
- **Consumo operacional (m³)**
Água Operacional – Descartes de Efluentes ± Volume Armazenado;
- **Uso Específico (m³/t)**
Captações de Fontes Convencionais / Unidade de Produção.

O indicador central utilizado para a definição da Meta Água Vale 2030 é o “Uso Específico”. Esse indicador desempenha um papel crucial na avaliação e orientação das práticas hídricas adotadas pela Vale, especialmente no contexto da produção de minério de ferro. É importante destacar que o uso específico pode variar entre as unidades operacionais, sendo influenciado por diversos fatores distintos. Essa variação entre unidades ocorre devido a uma combinação de fatores complexos, incluindo, mas não se limitando a:

Tecnologia adotada: A tecnologia utilizada nas diferentes unidades operacionais pode impactar diretamente o uso específico, considerando a eficiência nos processos e o tratamento da água;

Tipo de minério produzido: A natureza do minério de ferro a ser produzido também desempenha um papel significativo, pois diferentes tipos de minérios podem demandar diferentes quantidades de água em seus processos de extração e beneficiamento;

Condições climáticas: O clima em cada região onde a Vale opera tem influência direta na disponibilidade e demanda de água, afetando as estratégias de gestão hídrica e operacional;

Tipo de extração e processamento: A diversidade nas práticas de extração e processamento de minério de ferro entre as unidades pode resultar em requisitos distintos de uso da água.

Ao considerar esses fatores variáveis, assegura-se uma abordagem personalizada na definição de metas relacionadas à água para cada unidade operacional. Essa adaptação estratégica reflete o compromisso de alinhar as práticas hídricas com as características específicas de cada operação, visando otimização, eficiência e sustentabilidade em toda a cadeia produtiva. Na Figura 39 são apresentadas as faixas do uso específico (mínimo e máximo), observadas nas unidades operacionais Vale no ano 2022 para os diferentes negócios.

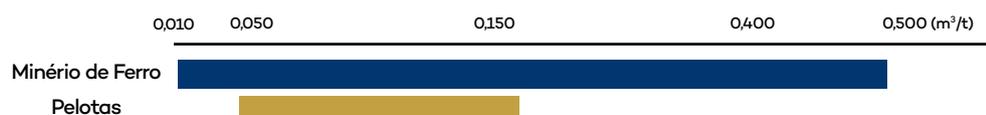


Figura 39: Faixas do uso específico Vale (m³/t) no ano de 2022.

2.5.6 Conclusão

Conclui-se que indicadores quantitativos desempenham um papel central na busca pela gestão responsável do uso de recursos hídricos e efluentes por parte das empresas. Para garantir a eficácia desses indicadores e, por conseguinte, o sucesso na gestão hídrica, recomenda-se a adoção de práticas e estratégias fundamentais:

- **Definição Clara de Objetivos:** Estabelecer metas e objetivos claros para orientar a implementação de indicadores quantitativos;

- **Investimento Sólido:** Alocar recursos em monitoramento, infraestrutura, ferramentas, procedimentos, sistemas, profissionais capacitados e controle da qualidade da informação;
- **Padronização de Conceitos e Critérios:** Garantir a consistência ao padronizar conceitos e critérios de cálculo em toda a empresa/ramo;
- **Engajamento com as Partes Interessadas:** Realizar reuniões com todas as partes envolvidas nas atividades, compreendendo cada etapa e suas particularidades.
- **Mapeamento Integral:** Mapear de forma abrangente fontes, usos, saídas, oportunidades, gaps e outros elementos relevantes.
- **Elaboração de Fluxograma e Balanço Hídrico:** Desenvolver fluxogramas e cálculos de balanço hídrico como ferramentas essenciais na compreensão e visualização do uso da água.
- **Seleção Estratégica de Indicadores:** Escolher indicadores que sustentem a segurança hídrica no contexto do planejamento estratégico.
- **Consideração da Singularidade Operacional:** Reconhecer que a performance de unidades operacionais e empresas distintas, mesmo quando produzem o mesmo tipo de minério, é particular.
- **Estabelecimento de Metas Alcançáveis:** Fixar metas alcançáveis e alinhadas com os objetivos da empresa.

Essas recomendações, quando implementadas de forma integrada, constituem diretrizes cruciais para a construção de indicadores quantitativos robustos, capazes de orientar empresas rumo a uma gestão hídrica eficiente, sustentável e socialmente responsável.

2.6 Outorga de direito de uso dos recursos hídricos

- Marco José Melo Neves⁴⁰
- Marcus André Fuckner⁴¹
- Nelson Neto de Freitas⁴²
- Patrick Thadeu Thomas⁴³
- Paula Ribeiro Salgado Pinha⁴⁴
- Priscyla Conti de Mesquita⁴⁵

2.6.1 Conceitos gerais da outorga

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos é o instrumento de gestão por meio do qual o poder público autoriza o usuário a utilizar determinada quantidade de água superficial ou subterrânea por período pré-determinado, nos termos e condições expressas em ato administrativo próprio. A finalidade da outorga é assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício do direito de acesso à água, conforme preconiza a Lei nº 9.433/1997. Destaca-se ainda que o mesmo instrumento legal estabelece que a outorga é ato da autoridade competente do poder público e que não implica a alienação parcial das águas, mas o simples direito de seu uso, podendo inclusive ser suspensa parcial ou totalmente em circunstâncias especiais.

A regularização das interferências nos corpos de água, como captação, lançamento ou barramento, se dá por meio da emissão da **outorga de direito de uso dos recursos hídricos ou da declaração de regularidade**, sendo esta última destinada aos casos de usos que independem de outorga, chamados de usos insignificantes, e às interferências que não estão sujeitas à outorga.

40 Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Superintendente de Regulação de Usos de Recursos Hídricos. E-mail: marco.neves@ana.gov.br

41 Especialista em Geoprocessamento da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. E-mail: marcus.fuckner@ana.gov.br

42 Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. E-mail: nelson.freitas@ana.gov.br

43 Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Superintendente Adjunto de Regulação de Usos de Recursos Hídricos. E-mail: patrick@ana.gov.br

44 Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. E-mail: paula.pinha@ana.gov.br

45 Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Coordenadora de outorga. E-mail: priscyla.mesquita@ana.gov.br

As interferências regularizadas são registradas no Cadastro Nacional de Usuários dos Recursos Hídricos – CNARH, plataforma criada para o cadastramento das interferências nos corpos de água de domínio da União e das unidades da federação de maneira integrada.

Cada unidade federativa e a União têm autonomia para definir os critérios para a emissão de outorga de direito de uso das águas sob seu domínio, em observância aos critérios gerais determinados pela Resolução **CNRH nº 16/2001**. Há ainda a outorga preventiva, com finalidade de reservar uma vazão passível de outorga ao usuário de água, possibilitando o planejamento do empreendimento. Entretanto, não confere o direito de uso ao interessado, devendo ser convertida em outorga de direito de uso por meio de solicitação ao órgão competente para que o uso possa ser iniciado.



Pivô de irrigação, Cristalina, Goiás.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

As **outorgas** solicitadas pelos usuários de água são emitidas pelos órgãos gestores estaduais, se a captação for em corpo d'água de domínio estadual, ou pela ANA, se em corpo d'água de domínio da União. O lançamento de efluentes em corpos d'água também está sujeito à emissão de outorga pelo órgão competente, por representar uma forma de uso, dada a indisponibilização de água para outros usos devido às exigências de qualidade.

Há ainda um tipo especial de autorização para uso da água, a **Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH)**, que é um tipo específico de outorga preventiva emitida para o setor elétrico com o objetivo de reservar a disponibilidade hídrica requerida para um determinado aproveitamento hidrelétrico. A Agência Nacional de Energia Elétrica (**ANEEL**) deve obtê-la junto à ANA ou ao respectivo órgão gestor de recursos hídricos. A DRDH é transformada automaticamente em outorga após autorização ou concessão do potencial de energia hidráulica.

É importante observar como – além de ser o instrumento de controle que avalia a real condição da bacia hidrográfica em termos de potencial hídrico – a **outorga** se relaciona com outros instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos. A concessão de outorga de uso dos recursos hídricos em um determinado trecho de curso d'água não deve deixar de observar a classe de uso definida pelo **enquadramento**, proposto preferencialmente no **plano** de recursos hídricos que deve estabelecer também a pactuação referente aos usos prioritários e até mesmo eventuais áreas com restrições de uso na bacia hidrográfica. Todos estes aspectos presentes no plano devem servir de subsídio à instrução de um processo de outorga. A **fiscalização** do uso dos recursos hídricos busca garantir que os parâmetros e eventuais condicionantes da outorga sejam respeitados. A **cobrança** depende do conhecimento dos usos outorgáveis. Finalmente, um **sistema de informações** acessível, estruturado e atualizado, ao concatenar as bases de dados e informações produzidas pela implementação dos demais instrumentos, torna-se ferramenta indispensável para as análises necessárias para a emissão das outorgas.

Percebe-se, portanto, que a outorga – bem como os demais instrumentos de gestão – depende da fiel observância dos fundamentos preconizados pela Política Nacional de Recursos Hídricos para que sejam bem implementados, com destaque para aqueles sujeitos à gestão descentralizada e participativa, tendo como unidade territorial a bacia hidrográfica. Embora legalmente a outorga seja de competência exclusiva da entidade gestora de recursos hídricos dos Estados ou da União, de acordo com a dominialidade, ela deverá ser concedida de acordo com as prioridades de uso definidas pelos planos de bacias, que por sua vez são aprovados pelos respectivos comitês, de acordo com as suas competências.

■ 2.6.2 Normativos de outorga

A implementação do instrumento outorga, além do previsto na Lei nº 9433/1997 e nas legislações estaduais correlatas, deve observar as diversas regulamentações emanadas do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, por meio de resoluções. A primeira a contemplar a outorga foi a **Resolução CNRH nº 16/2001**, que estabeleceu critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Na sequência, destacam-se, no contexto desta obra, a **Resolução CNRH nº 29/2002**, que definiu diretrizes para a outorga de uso de recursos hídricos para o aproveitamento de recursos minerais, e a **Resolução CNRH nº 55/2005**, que estabeleceu diretrizes para elaboração do Plano de Utilização da Água na Mineração - PUA. Merece destaque ainda a Resolução CNRH nº 65/2006, que estabeleceu diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental, aplicáveis não só à atividade de mineração, mas a todos os usos da água.

Da **Resolução CNRH nº 29/2002** destaca-se a instituição do Plano de Utilização da Água - PUA, definido como:

“Documento que, de acordo com a finalidade e porte do empreendimento minerário, descreve as estruturas destinadas à captação de água e ao lançamento de efluentes com seus respectivos volumes de captação ou diluição, os usos e o manejo da água produzida no empreendimento, o balanço hídrico do empreendimento, as variações de disponibilidade hídrica gerada pelo empreendimento na bacia hidrográfica, os planos de monitoramento da quantidade e qualidade hídrica, as medidas de mitigação e compensação de eventuais impactos hidrológicos e as especificidades relativas aos sistemas de rebaixamento de nível de água, se houver” (art.1º, inciso XIV).

Quanto aos usos relacionados às atividades de mineração, a **Resolução CNRH nº 29/2002** estabelece:

Art. 2º Os usos de recursos hídricos relacionados à atividade minerária e sujeitos a outorga são:

- I – a derivação ou captação de água superficial ou extração de água subterrânea, para consumo final ou insumo do processo produtivo;
- II – o lançamento de efluentes em corpos de água;
- III – outros usos e interferências, tais como:
 - a) captação de água subterrânea com a finalidade de rebaixamento de nível de água;

- b) desvio, retificação e canalização de cursos de água necessários às atividades de pesquisa e lavra;
- c) barramento para decantação e contenção de finos em corpos de água;
- d) barramento para regularização de nível ou vazão;
- e) sistemas de disposição de estéril e de rejeitos;
- f) aproveitamento de bens minerais em corpos de água; e
- g) captação de água e lançamento de efluentes relativos ao transporte de produtos minerários.

Nota-se que os usos listados no inciso III, artigo 2º da **Resolução CNRH nº 29/2002**, são em regra particularidades do setor de mineração. Nesse sentido, sempre será profícua a interlocução entre esse setor e as autoridades outorgantes com vistas a harmonizar procedimentos e critérios para os pedidos e as análises das outorgas, respeitando as instâncias de deliberação.

Justamente neste sentido foi que o Conselho Nacional de Recursos Hídricos aprovou em complemento à **Resolução CNRH nº 55/2005** para regulamentação do Plano de Utilização da Água na mineração. Essa resolução estabeleceu diretrizes gerais para um termo de referência visando à elaboração do referido Plano, que deverá ser o documento base para a análise dos pedidos de outorga para mineração.

No tocante às diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental, estabelecidas pela **Resolução CNRH nº 65/2006**, merecem destaque o dever dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Meio Ambiente, se articularem de forma continuada com vistas a compartilhar informações e compatibilizar procedimentos de análise e decisão em suas esferas de competência. Destaca-se igualmente o dever do empreendedor, de apresentar ao órgão ambiental licenciador a manifestação prévia ou ato correspondente do órgão ou entidade outorgante, ou ainda a outorga de direito de uso de recursos hídricos, nas diferentes fases de licenciamento (licença prévia, licença de instalação, licença de operação).

No âmbito da ANA merece destaque a Resolução nº 156, de 22 de maio de 2023, que alterou a Resolução 1.939, de 30 de outubro de 2017, para incluir a finalidade de mineração – extração de areia/cascalho em leito de rio entre aquelas que podem adotar o processamento eletrônico de análise de pedidos de outorga. Isso significa que os pedidos dessa finalidade passaram a ser analisados automaticamente pelo Sistema Federal de Regulação de Usos – REGLA, permitindo uma diminuição do tempo de emissão das outorgas.

2.6.3 Retirada de água para mineração

A água é amplamente utilizada nos processos da indústria extrativa mineral. Além da relevância da gestão de recursos hídricos superficiais para a atividade econômica, há um vasto campo de pesquisa para a gestão das águas subterrâneas, com as quais o setor de mineração mais se relaciona. Muitos dos instrumentos de gestão não são autoaplicáveis para essas águas, dentre eles há aspectos intrínsecos à outorga. Assim, torna-se fundamental uma parceria entre o agente outorgante e os setores minerais para que eventuais lacunas técnicas no campo da gestão correta das águas subterrâneas possam ser superadas.

O setor de mineração tem na água subterrânea um elemento necessário à sua atividade, seja como insumo no processo produtivo, seja pela necessidade de se efetuar o desaguamento de mina para a continuidade das atividades extrativas. Hoje se sabe que as grandes mineradoras detêm conhecimento hidrogeológico compatível com as suas necessidades, notadamente da correlação entre as águas superficiais e subterrâneas, e ainda das interferências locais e regionais que os empreendimentos mineiros introduzem no balanço hídrico regional. Destaque nesse campo deve ser dado à região central de Minas Gerais, local de grande mineração de ferro e uma das áreas mais bem conhecidas do país no campo da disponibilidade hídrica, mercê dos levantamentos geológico-hidrogeológicos realizados pelo setor.

Dentre as atividades da mineração, destaca-se o **minério de ferro**, com cerca de 60% da retirada de água estimada para todo o setor, seguido de outros minerais metálicos não ferrosos (19%) e outros minerais não metálicos (18%) (Figura 40).

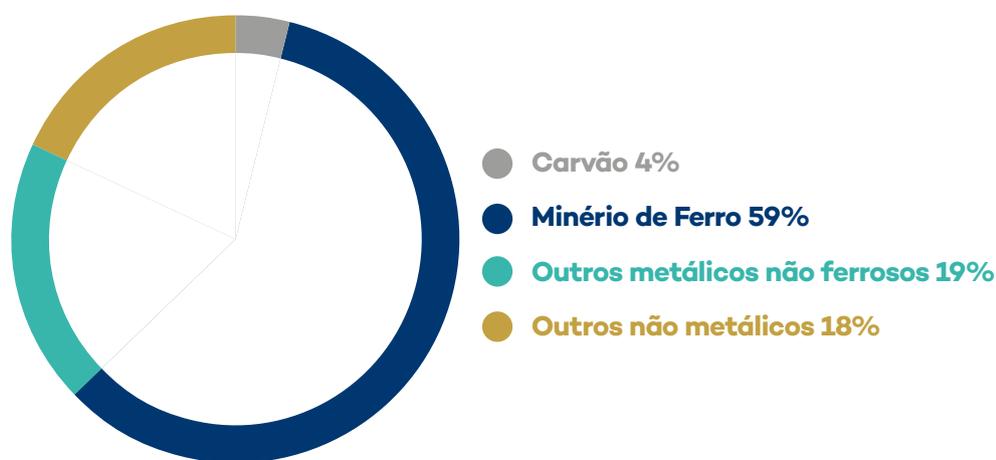


Figura 40: Participação da demanda por grupo de mineração.

Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021 – Relatório Pleno. Disponível em <https://conjuntura.ana.gov.br>

Além dos diferentes valores de retirada, destaca-se a variação no consumo médio: desde 8,6% da retirada para metais preciosos, alcançando 85% para o caso do alumínio. Considerando as diferentes tipologias, o consumo médio global da atividade de mineração é da ordem de 30% da retirada.

Nas próximas décadas, deverá haver um pequeno ajuste na participação dos grupos minerais na demanda hídrica total, com expectativa do aumento da participação do carvão mineral e dos outros minerais não metálicos, resultante da grande participação da construção civil.

A Figura 41 apresenta a distribuição espacial da tipologia de mineração predominante por município onde há presença da atividade no Brasil, podendo ser observados os principais polos de extração de minério de ferro e outros minerais metálicos.

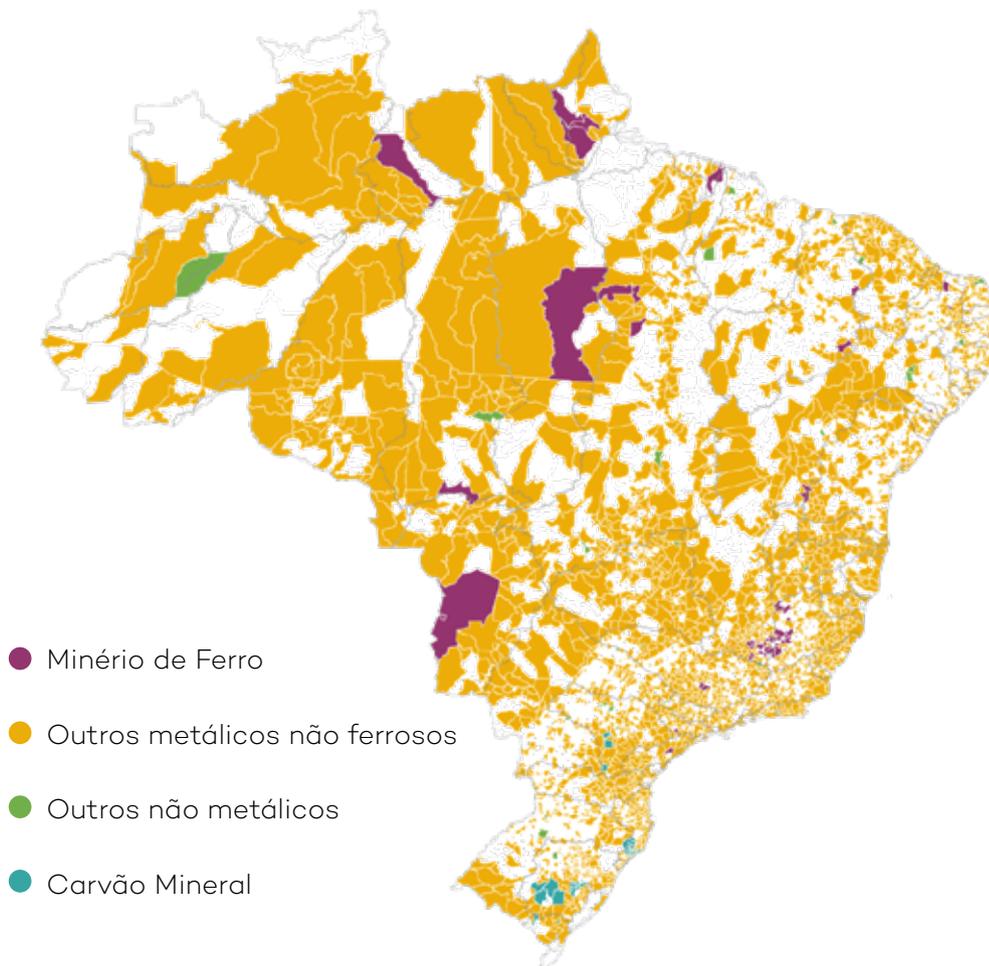


Figura 41: Tipologia predominante da mineração por município.

Fonte: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021 – Relatório Pleno. Disponível em <https://conjuntura.ana.gov.br>

A lista dos vinte municípios com as maiores demandas de retirada estimada de água, superficial ou subterrânea, para o uso regularizado da mineração, bem como os valores totais de retirada dos usos consuntivos regularizados de água nesses municípios é apresentada na Tabela 5. Destes, treze estão localizados no Estado de Minas Gerais. Outros três municípios do Pará e dois em Mato Grosso do Sul também possuem extração de minério de ferro. Os municípios de Treviso e Candiota, em Santa Catarina e Rio Grande do Sul, respectivamente, se destacam pela extração de carvão mineral.

Tabela 5: Municípios com maiores demandas de uso de água para mineração no Brasil (2023)⁴⁶.

Ordem	Município	UF	Retirada Estimada de Água da Mineração (m ³ /s)	Retirada Estimada de Água do Município (m ³ /s)
1	Parauapebas	PA	8,16	8,84
2	Mariana	MG	2,90	3,28
3	Nova Lima	MG	2,61	2,99
4	Congonhas	MG	2,08	2,21
5	Itabira	MG	1,97	2,45
6	Itabirito	MG	1,64	1,91
7	São Gonçalo do Rio Abaixo	MG	1,57	1,61
8	Ouro Preto	MG	1,20	1,61
9	Brumadinho	MG	0,84	1,05
10	Marabá	PA	0,63	2,80
11	Treviso	SC	0,57	0,59
12	Canaã dos Carajás	PA	0,48	0,78
13	Conceição do Mato Dentro	MG	0,43	0,51
14	Sabará	MG	0,38	0,90
15	Catas Altas	MG	0,34	0,42
16	Itatiaiuçu	MG	0,34	0,40
17	Belo Vale	MG	0,28	0,32
18	Candiota	RS	0,27	0,80
19	Ladário	MS	0,26	0,33
20	Corumbá	MS	0,23	1,78

Fonte: Base Nacional de Usos da Água. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/files/ac9b36cd-88fc-4211-911a-741b5f290c00/ANA_Boletim-SNIRH_1a-Ed_Web.pdf

⁴⁶ Os dados de retirada de água são obtidos a partir de metodologias indiretas, utilizando coeficientes técnicos que associam variáveis inventariadas a uma necessidade média de água.

Dentre as interferências outorgadas, destacam-se as vazões de uso da água nos municípios com produção de minério de ferro, como apresentados nas estimativas das demandas de uso da água no país. Nesse sentido, participação das empresas Vale, Anglo American e Samarco, entre outras. Já no caso do carvão mineral, destacam-se a Companhia Carbonífera Metropolitana e a Companhia Riograndense de Mineração, localizadas em Treviso/SC e Candiota/RS, respectivamente.

Além do uso da água nas minas para o rebaixamento dos aquíferos e os diferentes processos extrativos minerais, destaca-se a existência de **minerodutos** que transportam o minério de ferro do estado de Minas Gerais para portos da região Sudeste, incluindo volumes expressivos de água para viabilizar o seu transporte.

O mineroduto Minas-Rio, considerado o maior do mundo, de propriedade da empresa Anglo American, possui capacidade de transportar 26,5 milhões de toneladas de minério de ferro, percorrendo 525 km de Conceição do Mato Dentro/MG ao Porto do Açu em São João da Barra/RJ. A Samarco, por sua vez, opera três minerodutos com cerca de 400 km de extensão cada, de seus complexos de extração de minério de ferro localizados em Mariana/MG ao Porto de Ubu, em Anchieta/ES.

Um exemplo profícuo de articulação entre poderes instituídos e setores usuários, inclusive o setor de mineração, visando suprir lacunas de conhecimento e produzir subsídios para o aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos, foi o “Desenvolvimento de Matriz de Coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil”, concluído em 2011, sob liderança do Ministério do Meio Ambiente – MMA, mas contando com efetiva participação da ANA e de praticamente todos os setores usuários de recursos hídricos.

Esse trabalho trouxe fundamentos para as estimativas das demandas de usos consuntivos da água, entre eles a mineração, que foram aprimorados metodologicamente e detalhados espacial e temporalmente, com apoio de diversas bases de dados e dos setores econômicos, para a consolidação do “Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil”, publicado pela ANA, em 2017.

As retiradas de água para as atividades de mineração, o consumo e os retornos foram estimados para o período de 1931 a 2030, e posteriormente, no âmbito do Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022, projetadas até 2040, horizonte desse Plano. A Figura 42 apresenta a **evolução estimada da retirada de água pela mineração** no período, envolvendo a série histórica e as projeções futuras.

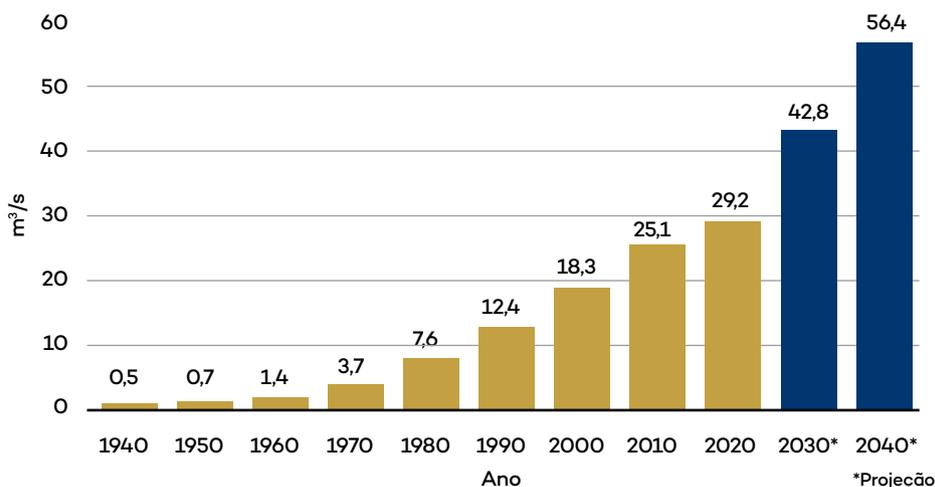


Figura 42: Evolução da retirada de água da mineração no Brasil.

Fonte: Base Nacional de Usos da Água. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/files/ac9b36cd-88fc-4211-911a-741b5f290c00/ANA_Boletim-SNIRH_1a-Ed_Web.pdf

O uso consuntivo setorial da água no Brasil ocorre, principalmente, para irrigação, abastecimento humano (urbano e rural), abastecimento dos rebanhos, indústria, geração termelétrica e mineração. Os avanços são registrados anualmente no Relatório Conjuntura de Recursos Hídricos, publicado pela ANA⁴⁷. O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de minério de ferro, bauxita e alumina, nióbio, fosfato, dentre outros. A mineração demanda um volume de água que equivale ao volume para abastecimento da população rural brasileira.

A eficiência do uso da água na mineração é representada pela proporção de água na polpa, no caso de mineração – extração de areia ou cascalho em leito de rio, e pela quantidade de água utilizada por tonelada de minério produzida, para os demais tipos de mineração.

A Figura 43 apresenta a evolução da quantidade de outorgas emitidas conforme a proporção de água na polpa água/areia ou água/cascalho, extraídos de leito de rio. Do total de outorgas emitidas pela ANA até 2022, 1/3 possui uma proporção de água na polpa de 50% e 1/3 de 66%. Ou seja, a maior parte das outorgas emitidas possui uma proporção de água na polpa entre 50% e 66%, índices mais eficientes. Apenas 1/5 das outorgas possui uma proporção de água de 75% e somente 1/10 das outorgas de 80%.

⁴⁷ <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-dos-recursos-hidricos>

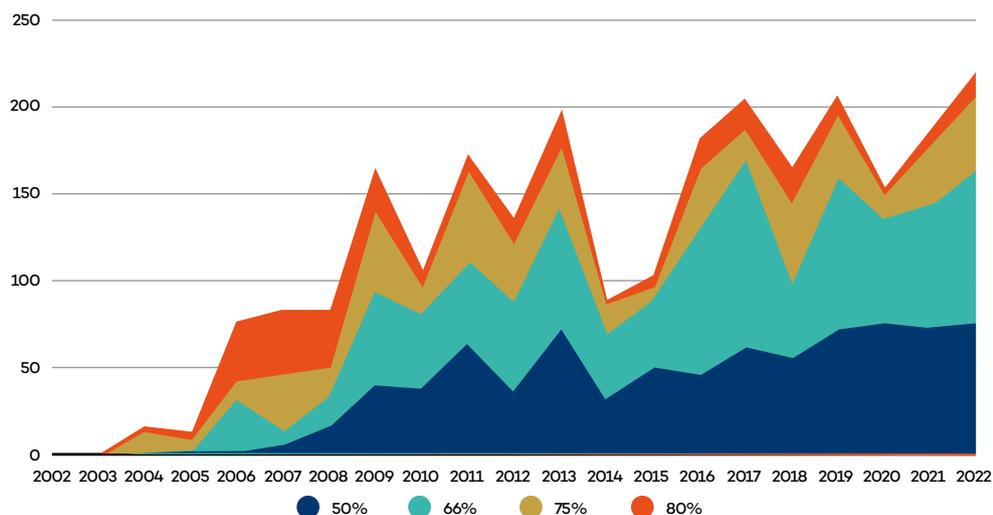


Figura 43: Evolução da quantidade de outorgas emitidas conforme a proporção de água na polpa: água/areia ou água/cascalho, extraídos de leito de rio.

Quanto aos demais minerais, o uso médio de água específico por tonelada produzida, para os diferentes produtos, pode ser observado nas Figuras 44 e 45, calculado a partir da divisão do volume anual declarado nos pedidos de outorga pela produção anual de minério.

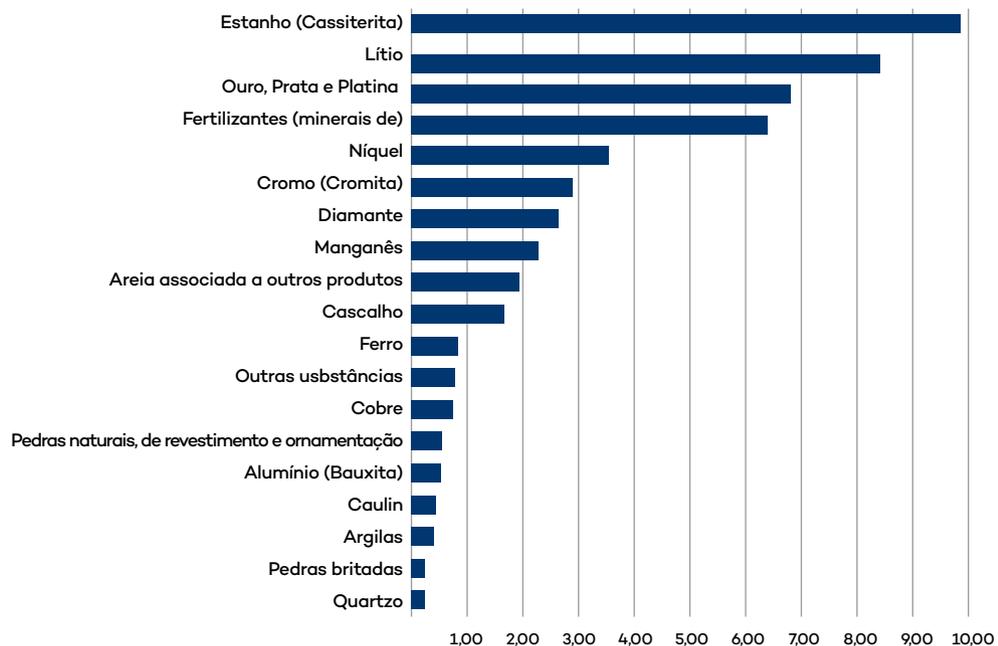


Figura 44: Uso específico de água para extração de minerais até 10 m³/tonelada

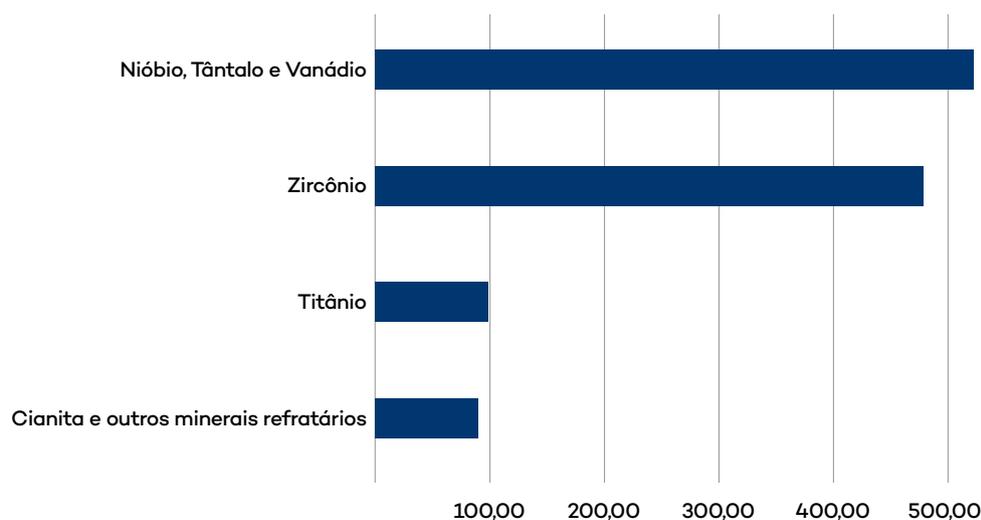


Figura 45: Uso específico de água para extração de minerais acima de 10 m³/tonelada.

Verifica-se que a extração de nióbio, tântalo, vanádio, zircônio, titânio, cianita e outros minerais refratários levam a um consumo de água uma ordem de grandeza maior que substâncias minerais como quartzo, alumínio, ferro, ouro, prata e platina, entre outros. Porém, apesar do uso específico maior, esses quatro grupos de minerais representam apenas 30% do volume total de água utilizado pelos demais tipos de mineração (excluída a extração de areia e cascalho em leito de rio).

■ 2.6.4 Registros no CNARH

Ao final de julho de 2023 constava no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH os registros de 218.512 outorgas vigentes, 17.199 autorizações, que correspondem a situações de regularidade adotadas por alguns estados para fins de cadastro de usos, notadamente em águas subterrâneas, e 104.278 interferências classificadas como usos insignificantes. Destes totais, 92,5% referem-se a interferências em corpos hídricos de domínio estadual.

A Figura 46 apresenta o total de atos de regularização de usos de recursos hídricos registrados no CNARH para todas as finalidades em corpos hídricos de domínio da União e dos estados. Embora o quantitativo de atos emitidos pela ANA em corpos hídricos da União corresponda a somente 7,6% do total, esse montante compreende 21,7% do total da vazão máxima outorgada em todo o País (9.413 m³/s).

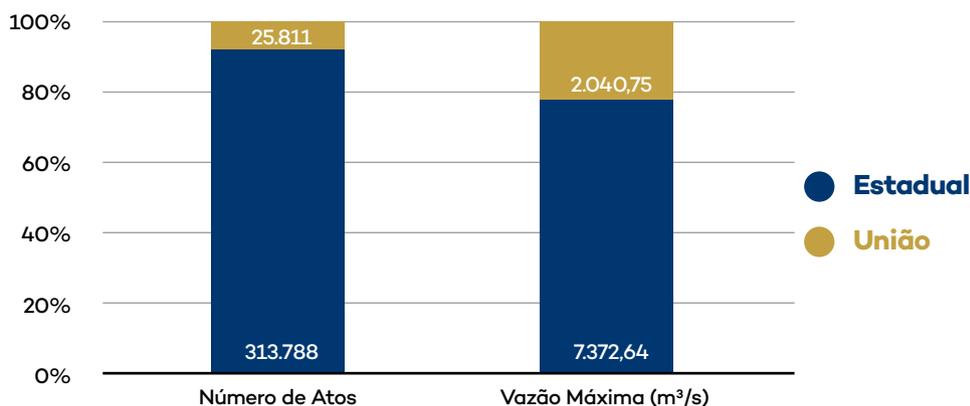


Figura 46: Atos de regularização de usos de recursos hídricos segundo o domínio do corpo hídrico.

Fonte: CNARH.

Ao se considerar o tipo de corpo hídrico, no caso das regularizações efetuadas pelos estados em corpos hídricos de seu domínio (Figura 47), observa-se que o número de outorgas e demais atos emitidos é similar entre corpos hídricos superficiais e subterrâneos (52 e 48%), porém a vazão máxima outorgada em águas superficiais (83,4%) é cerca de 5 vezes superior à vazão outorgada em águas subterrâneas (16,6%).

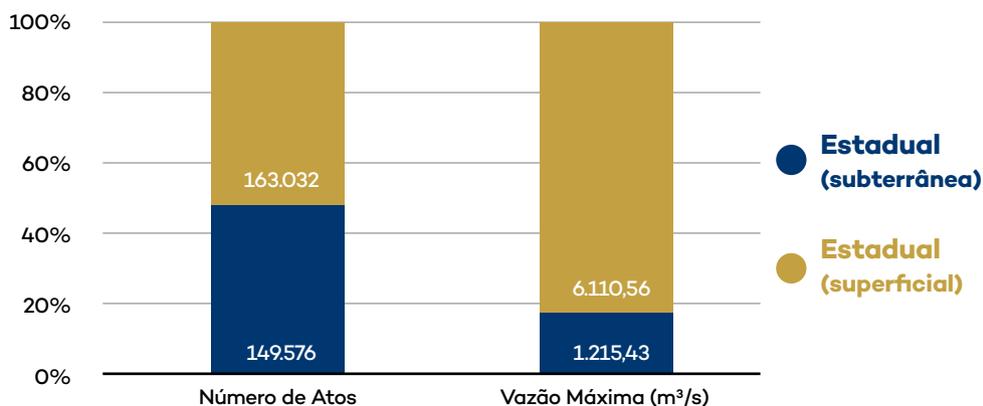


Figura 47 Atos de regularização de usos de recursos hídricos estaduais segundo o tipo de corpo hídrico.

Fonte: CNARH

As outorgas, autorizações e usos insignificantes registradas para a finalidade de mineração e vigentes em julho de 2023 alcançavam um total de 4.692 interferências, sendo 1.672 de domínio da União, e 3.020 de domínio estadual.

No caso do CNARH, as atividades de mineração são apresentadas basicamente em duas finalidades de uso. Especificamente para a finalidade de **“Mineração - extração de areia, cascalho em leito de rio”** constavam 3.421 interferências, sendo 2.245 outorgas vigentes, 335 autorizações e 841 interferências classificadas como usos insignificantes, enquanto para a finalidade **“Mineração - outros processos extrativos”** constavam 1.271 interferências, sendo 1.042 outorgas vigentes, 29 autorizações e 200 interferências classificadas como usos insignificantes, totalizando 4.692 registros de interferências atribuídas formalmente à atividade de mineração.

As interferências outorgadas para outros processos extrativos da mineração que não sejam a extração de areia e cascalho no leito dos rios, somam uma vazão máxima de 77,7 m³/s de uso de água, perfazendo um volume anual de uso de 878 milhões de m³.

Além destes registros, verifica-se no CNARH a ocorrência de usuários que desempenham atividades minerárias, com 215 outorgas vigentes, 2 autorizações e 15 interferências classificadas como usos insignificantes, cadastradas para **“outras”** finalidades, visando à contenção de sedimentos, disposição de rejeitos, rebaixamento de aquíferos e pesquisas minerais ou hidrogeológicas.

Quando consideradas somente tais finalidades de uso associadas às atividades de mineração no CNARH (Figura 48), o quantitativo de atos emitidos pela ANA em corpos hídricos da União corresponde a cerca de um terço (34%) do total, porém esse montante compreende apenas 18,5% do total da vazão máxima outorgada no País para essas atividades (154 m³/s), que é concedida em sua grande maioria pelos estados (81,5%).

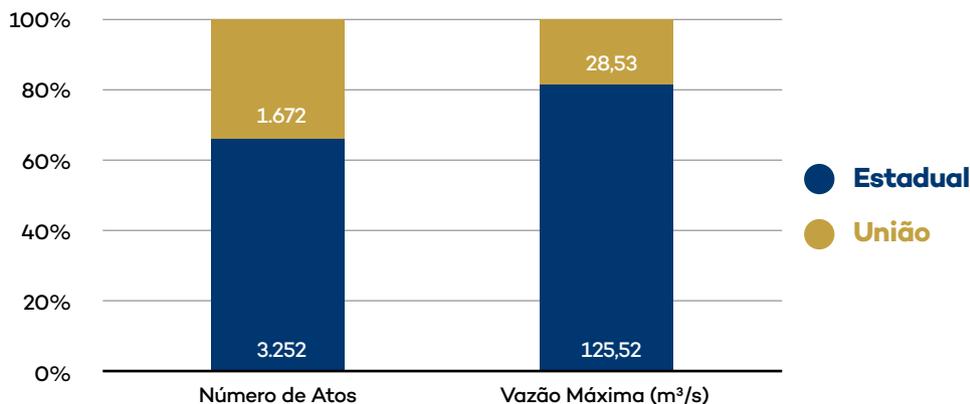


Figura 48: Atos de regularização de usos associados às atividades de mineração segundo o domínio dos corpos hídricos.

Fonte: CNARH

No caso dos estados, a grande maioria dos usuários de recursos hídricos associados à mineração fazem uso de águas superficiais (79,5%), ao passo que esses corpos hídricos concentram ainda mais a vazão máxima outorgada à atividade (89% do total), o que demonstra que a mineração se utiliza preponderantemente de águas superficiais.

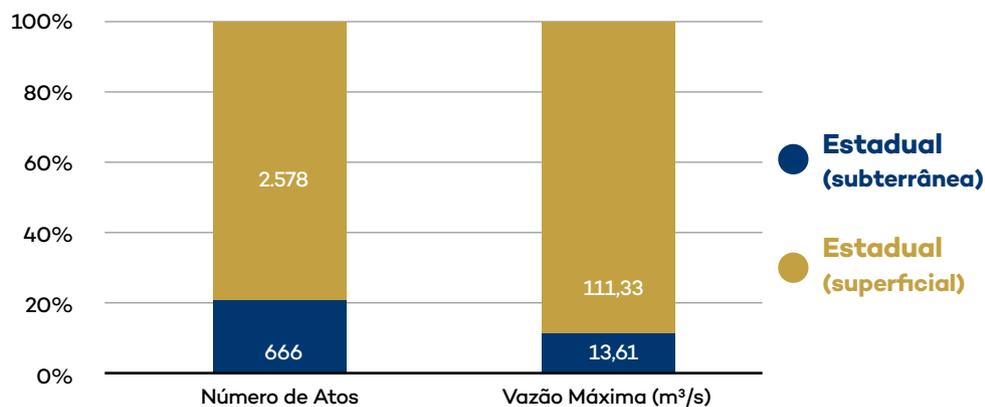


Figura 49: Atos de regularização de usos associados às atividades de mineração em corpos hídricos de domínio dos estados segundo o tipo de corpo hídrico. Fonte: CNARH

A Figura 50 apresenta a evolução anual dos atos de regularização emitidos para o setor de mineração de 2006 a 2022, a partir dos registros constantes no CNARH, sendo nítido um processo contínuo de expansão da regularização do uso de recursos hídricos pela atividade econômica.

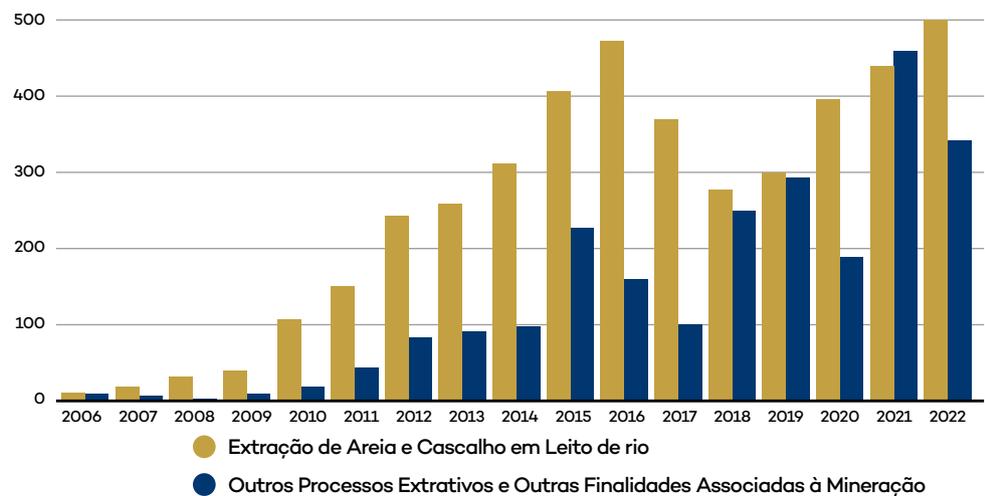


Figura 50: Atos de regularização emitidos para atividades de mineração no Brasil*
* Considera outorgas, autorizações e declarações de regularidade para usos insignificantes, de domínio da União e estaduais

A Tabela 6, por sua vez, contém o detalhamento dos usos registrados no CNARH, vinculados a atividades minerárias, classificados por finalidade, tipo de interferência, tipo de corpo hídrico, dominialidade e tipo de ato de autorização.

Tabela 6: Outorgas e usos insignificantes de uso vigentes para finalidades relacionadas à mineração no Brasil.⁴⁸

Finalidade	Domínio	Tipo de Regularização	Tipo de Interferência				Ponto de Referência	Total da Mineração
			Captação			Lançamento		
			Superficial	Subterrânea	Subtotal			
Mineração - Extração de Areia ou Cascalho em leito de rio	União	Outorgado	807		807	7	16	830
		Uso Insignificante	695	-	695	-	-	695
	Estadual	Outorgado	779	186	965	371	414	1750
		Uso Insignificante	101	8	109	12	25	25
	Subtotal	Outorgado	1586	186	1772	378	430	2580
		Uso Insignificante	796	8	804	12	25	841
Mineração - Outros Processos Extrativos	União	Outorgado	62		62			62
		Uso Insignificante	85	-	85	-	-	85
	Estadual	Outorgado	716	285	1001	8	0	1009
		Uso Insignificante	85	30	115	-	-	115
	Subtotal	Outorgado	778	285	1063	8	0	1071
		Uso Insignificante	170	30	200	-	-	200

48 Outorgados: equivale aos usos regularizados, em que se considera os instrumentos de outorga e autorização.

Uso insignificante: equivale aos usos que dispensam a emissão de outorga de direito de uso. O seu valor de referência varia de acordo com a região/bacia, devido à disponibilidade de água nessas diferentes regiões.

Finalidade	Domínio	Tipo de Regularização	Tipo de Interferência				Ponto de Referência	Total da Mineração
			Captação			Lançamento		
			Superficial	Subterrânea	Subtotal			
Outras Finalidades associadas às atividades de Mineração	União	Outorgado	-	-	-	-	-	-
		Uso Insignificante	-	-	-	-	-	-
	Estadual	Outorgado	50	156	206	10	1	217
		Uso Insignificante	14	1	15	-	-	15
	Subtotal	Outorgado	50	156	206	10	1	217
		Uso Insignificante	14	1	15	-	-	15
	Total da Mineração			3.394	666	4.060	408	456

Fonte: Dados extraídos do CNARH, vigentes em 31/07/2023. Disponíveis para acesso público como dados abertos de usos em corpos hídricos de domínio da União (https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/9e8a6890e6384bfa9a8d06de4a403080_3/explore), em corpos hídricos superficiais de domínio Estadual (https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/3b1ed9295d2c428a8f0ec6e6ffcfeddf_1/explore) e em corpos hídricos subterrâneos de domínio Estadual (https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/O96e3aae5bd24c759c3b08fcfa0e33c3_2/explore).

2.7 Reúso de água na mineração

- Silvia Cristina Alves França⁴⁹
- Suellen Marques Silva⁵⁰
- Ariel Wanis⁵¹

2.7.1 Introdução

A água é um importante insumo no âmbito das atividades de mineração – notadamente na área de concentração de minérios na qual é usada, e como meio de transporte. Por ser um recurso extremamente necessário em diversas atividades da indústria mineral, conforme está bem descrito nas seções anteriores desse Capítulo, a água tornou-se a origem de muitas preocupações, devido à sua escassez em algumas regiões do mundo, alteração na qualidade devido aos impactos causados pelo crescimento da população e das atividades industriais, e o aumento da competição por este recurso entre setores da sociedade, especialmente para suprimento às necessidades vitais do ser humano (Lima, 2018; Sampaio et al., 2018). Portanto, a transparência corporativa em torno do uso da água é essencial para a sustentabilidade e licença social da indústria de mineração e metais (ICMM, 2023).

Embora o setor de mineração apresente as menores demandas relativamente a outros setores, como a agricultura, a mineração assume como imperativo a necessidade de redução do consumo, sendo que a adoção de tecnologias que permitam o reúso e a recirculação da água no processo minerário, é posta como fundamental e prioritária (Tabela 7) com vistas a diminuir, cada vez mais, o uso/captação de água nova, promover o uso consciente da água e estabelecer o nível de sustentabilidade da atividade, no Brasil e no mundo.

49 Eng. Química, D.Sc. Tecnologista Sênior III. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. E-mail: sfranca@cetem.gov.br

50 Eng. de Materiais, M.Sc. (Bolsista PCI/MCTI). Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI

51 Eng. de Segurança do Trabalho (Bolsista de projeto). Núcleo Regional do Espírito Santo, Centro de Tecnologia Mineral – NRES/CETEM. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI.

Tabela 7: Consumo de água na produção mineral e índice de recirculação por tipologia mineral

Tipologia mineral	Volume de água consumida por tonelada produzida (m ³ /t)	Recirculação/reciclagem (%)
Minério de ferro (concentrado)	0,18 - 1,0	90
Cobre	2,03	83
Bauxita	3,0	50-90
Caulim	3,93	85
Alumínio	4,9 - 5,2	62
Fosfato	6,6 - 13,8	50-83
Minério de ferro (pelotas)	6,80	91
Aço	85 - 230	95,5

Fonte: Adaptado de CNI & IBRAM (2012); Instituto Aço Brasil (2016)

Na prática do reúso de água industrial, a mineração assume, como importante, a necessidade de conhecer e quantificar as perdas inerentes ao processo, como perdas por evaporação (tanques e barragem de rejeitos), água contida no produto e no rejeito, dentre outras, pois tais informações são essenciais para a quantificação precisa da recirculação e necessidade de captação de água nova para o processo.

Nesse contexto, a Organização das Nações Unidas – ONU ressalta a grande carência de informações e dados sobre o tratamento e reutilização da água pelos diversos setores usuários; e na mineração não é diferente! Atualmente, não há dados suficientes para estimar globalmente a situação do reúso da água, bem como tendências de consumo e tratamento (UN Water, 2021). Além da falta de informações, a falta de ações conjuntas para redução no consumo de água também preocupa a ONU, preocupação esta manifestada no tema do relatório anual setorial para Água – UN Water 2023, cujo tema refere-se a parcerias e cooperação pela água (Figura 51).



Figura 51: Capa do relatório anual da Organização das Nações Unidas 2023 para a água e o ODS 6, relacionado ao tema.

Portanto, aumentar a quantidade de informações disponíveis sobre o tema é um passo essencial para acelerar os esforços, no que diz respeito à maior aplicação de tecnologias para tratamento de água de processo, que permitam a remoção e/ou controle de reagentes e contaminantes de processo e o seu crescente reúso/recirculação, ou, em último caso, o descarte adequado nos corpos hídricos. A adoção e a disseminação de tecnologias inovadoras e eficientes para uso e reúso/recirculação de água nos diversos setores devem ser encaradas como ações determinantes para a sustentabilidade das atividades econômicas, bem como para o desenvolvimento da sociedade, cuja economia é baseada em um modelo hidroatensivo.

2.7.2 Desafios para uso e reúso de água na mineração

O reúso de água na mineração é um desafio importante para a indústria, pois a água é um recurso natural valioso e escasso. Aqui estão alguns desafios comuns que podem surgir ao tentar aumentar o reúso de água na mineração:

1. Qualidade da água

A água utilizada durante os processos de mineração pode ficar contaminada com produtos químicos, íons solúveis, material particulado, dentre outros. A remoção desses contaminantes da água é fundamental para garantir sua reutilização, portanto o desenvolvimento de métodos eficazes de tratamento e purificação da água é um desafio contínuo.

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentados valores de alguns parâmetros físicos e químicos da fase aquosa de alguns rejeitos minerais industriais e pro-

duzidos em laboratório, bem como os limites estipulados para descarte por órgãos de controle ambiental.

Tabela 8: Parâmetros de água de processo e descarte (CONAMA e outras agências de controle).

Parâmetros	Sulfetos metálicos	Não-metálicos	Silicatos	CONAMA (descarte)
Condutividade ($\mu\Omega$)	175 - 675	650 - 17.000	130 - 550	-
Sólidos dissolvidos (ppm)	120 - 4.300	190 - 18.500	1 - 1.100	500
Sólidos suspensos (ppm)	2 - 550.000	4 - 360.000	0,4 - 1.900	<1.000
DQO (mg/L)	15 - 240	2 - 40	0,2 - 36	250
COT (ppm)	8 - 290	9 - 3.100	-	3-10
Óleos e graxas (ppm)	2 - 11	1 - 100	0,03 - 90	20-70
pH	8-11	5-11	5-11	5-9

Fonte: Azevedo *et al.* (2018); CONAMA (2011; 2005).

Tabela 9: Valores de condutividade elétrica em amostras de água e efluentes de laboratório.

Amostras de água e efluente de laboratório (CETEM)	Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$ a 25°C)
água de abastecimento público	106,2
água destilada	2,41
efluente após floculação/sedimentação rejeito de Ni	1580
efluente após floculação/sedimentação lama vermelha	3750

Fonte: França *et al.* (2019)

Com base na Tabela 8, muitos parâmetros precisam ser adequados às especificações de reúso e/ou descarte por meio do uso de tecnologias de tratamento de água/efluentes e, provavelmente, diferentes tecnologias devem ser utilizadas para este fim. Da mesma forma, quando se considera o parâmetro condutividade elétrica, pelos valores de apresentados na Tabela 9, é possível perceber que a redução na condutividade residual será um desafio para a possibilidade de recirculação de água de processo.

2. Disponibilidade de fontes alternativas

Além da água de processos, muitas minas dependem do abastecimento de água de fontes externas, como rios e lagos. Encontrar fontes alternativas de água, como água de chuva, e implementar sistemas de captação e armazenamento adequados pode ajudar a reduzir a dependência dessas fontes externas.

3. Infraestrutura e custos

Implementar sistemas de tratamento de água adequados e estabelecer uma infraestrutura eficiente para o reúso de água na mineração pode ser um desafio. Além disso, os custos associados à implantação e manutenção desses sistemas podem ser elevados. É preciso encontrar soluções economicamente viáveis, para que o reúso de água seja uma prática acessível para as empresas de mineração.

Na Figura 52 são apresentados os percentuais de uso de água nas operações de lavra e beneficiamento mineral e as opções de técnicas de tratamento do efluente aquoso que permitem o seu reúso. Com as especificações físico-químicas para descarte cada vez mais restritas, com limites menores para contaminantes, tem-se a necessidade de aplicação de tecnologias mais eficientes (maior custo) para atingir as exigências dos órgãos ambientais; estes fatores reforçam a tendência à adoção de práticas de reúso, adaptadas às diferentes necessidades do processo. Na Tabela 10 são apresentados valores comparativos de parâmetros de qualidade de água adotados no Brasil e na União Europeia.

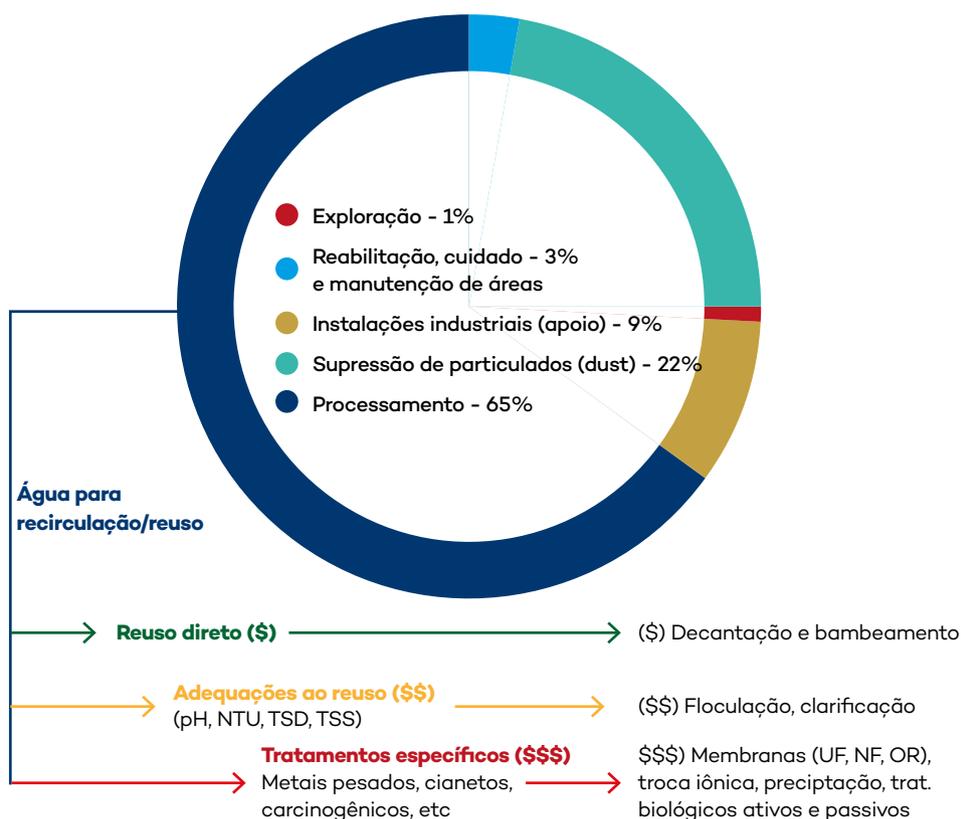


Figura 52: Técnicas para tratamento e reúso de água na mineração. Fonte: França, 2022.

Tabela 10: Parâmetros de qualidade para descarte de água/efluentes industriais.

Parâmetros	Concentrações mínimas	
	Brasil (Conama 430, MMA 2011)	União Européia (tendência)
SO ₄ (mg/L)	250	50
N _{tot} (mg/L)	20	3 - 5
coletores de flotação (aminas) (µg/L)	-	0,9 µg/L
DQO (mg/L)	60	10
U (µg/L)	20	0,17
Se (µg/L)	300	5

Fonte: UNWater (2019); IMWA (2017); Conama (2011)

4. Mudanças na legislação

Questões de manutenção e segurança referentes às barragens de rejeito convencionais impulsionam, positivamente, a conscientização quanto à remoção máxima de água de concentrados e rejeitos, permitindo o seu reúso no processo.

De fato, a intensificação das práticas de desaguamento de rejeitos para disposição de forma mais segura influencia, sobremaneira, o reúso de água nas atividades de lavra e beneficiamento. Reagentes químicos de alta performance e equipamentos com sistemas operacionais cada vez mais eficientes permitem a produção de concentrados pastosos e/ou tortas minerais com teores de água cada vez menores, permitindo o aumento da recirculação e reúso de água de processo e a conseqüente redução na captação de água nova.

Jansson (2018) aponta os ganhos na adoção de tecnologias de desaguamento mais eficientes, em termos de reúso de água e impactos (*footprints*) da operação. Na Tabela 11 são apresentados os percentuais de água possíveis de recirculação e a redução dos impactos gerados pela atividade a depender do tipo de tecnologia de desaguamento utilizada.

Tabela 11: Tipos de tecnologias aplicadas na geração de rejeitos e seus benefícios em termos de reúso de água e impactos ambientais.

Tecnologia	Água contida no rejeito (%)	Água passível de recuperação (%)	Impacto (<i>footprint</i>) (%)
Espessamento convencional	60-70	-	100
Espessamento de alta taxa	40-50	<10	72
Espessamento de pasta	30-35	25	53 (disposição em cava ou em superfície)
Filtragem	10-20	70	12 (disposição em pilhas ou formação de praças - superfície)

Na Figura 53 são apresentadas duas abordagens de desaguamento de rejeitos e formas de disposição, com relação direta na quantidade de água recirculada para o processo de beneficiamento e afins.



Figura 53: Disposição de rejeitos: (a) rejeito espessado de níquel sulfetado, Fortaleza de Minas-MG, 2011; (b) rejeito filtrado de minério de ferro, complexo de Itabira, MG, 2023. Fotos: Silvia França.

Outra abordagem em diferentes operações de desagüamento, suas combinações e as possíveis vazões de água de processo a serem recirculadas foi proposta pela empresa Outotec (Illi, 2018). A proposta, como bem demonstra a Figura 54, considera o fluxograma de operações portuárias de desagüamento e embarque de concentrado mineral. Neste caso, a remoção de água é ainda mais importante, devido às especificações de limite de umidade transportável (TML – *Transportable Moisture Limit*), que mede o percentual de umidade da carga para garantir que não haja liquefação do material durante o transporte e suas implicações.

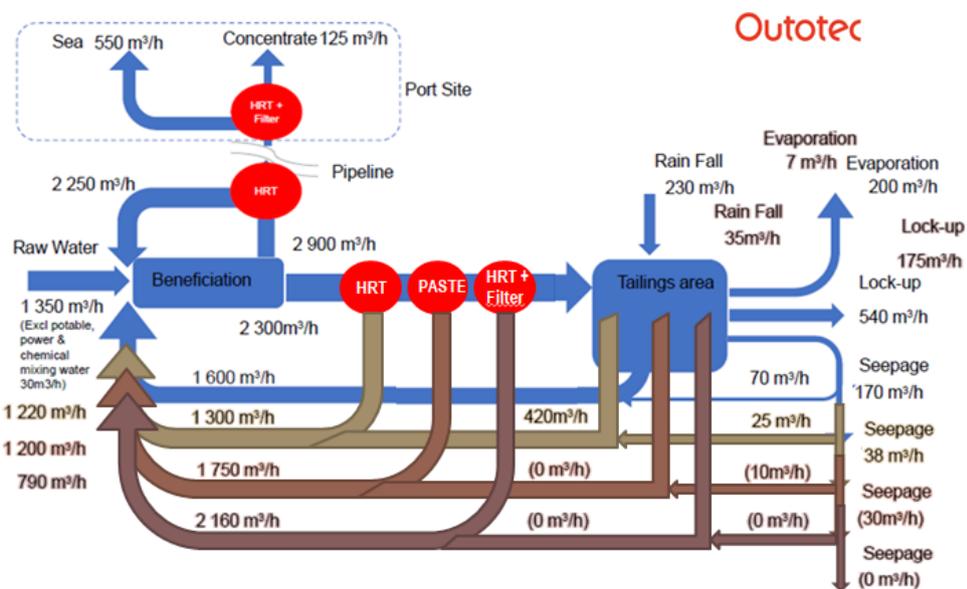


Figura 54: Fluxograma com opções de operações de desaguamento para potencializar o reúso de água de processo.

Fonte: M. Illi/*Water Treatment Outotec*, 2018.

No Fluxograma da Figura 54 são apresentadas duas alternativas de espessamento (espessador de alta taxa ou espessador de pastas) e ainda uma combinação de espessamento de alta taxa e filtração. Adotando-se esta última combinação, é possível reduzir as perdas por infiltração de 170 para menos de 30 m³/h e com a maior recuperação de água, chega-se a reduzir em 60% a necessidade de água nova no processo de beneficiamento.

5. Envolvimento das partes interessadas

Garantir o envolvimento e comprometimento das partes interessadas, com uma abordagem abrangente e colaborativa, combinando esforços da indústria, governos, comunidades locais e especialistas em meio ambiente. Este trabalho de engajamento coordenado é crucial para impulsionar a adoção das práticas de reúso de água na mineração, estabelecer parcerias e colaborações para desenvolvimento de soluções conjuntas e, desta forma, garantir a sustentabilidade da atividade.

6. Conscientização e regulamentação

Promover a conscientização sobre os benefícios do reúso de água na mineração e estabelecer regulamentações claras e rigorosas podem incentivar as empresas a adotarem práticas mais sustentáveis. É importante educar e conscientizar sobre as práticas de reúso de água e seus impactos positivos no meio ambiente e nas comunidades.

2.7.3 Melhores práticas para o reúso de água

É tendência mundial do setor de mineração o uso de novas tecnologias para aumentar a eficiência das operações de desaguoamento, por meio do uso de reagentes químicos e equipamentos que promovem a separação sólido-líquido mais eficiente. Paralelamente, é perceptível a preocupação com a quantificação mais precisa das perdas de água no processo (evaporação, infiltração, água contida em produtos e rejeitos, dentre outras), visando a maior recirculação, redução na dependência de captação de água nova e minimização de impactos ambientais. Tais ações têm sido incentivadas, tanto por questões ambientais quanto pela necessidade de garantir a sustentabilidade dos empreendimentos, uma vez que a escassez de água é um desafio enfrentado em várias regiões do mundo.

Embora não se tenha conhecimento preciso do percentual de reúso de água na mineração, de forma geral, muitas empresas têm desenvolvido projetos e sistemas de gerenciamento de água para alcançar altos percentuais de reúso. Alguns empreendimentos têm relatado índices de reúso superiores a 90%, com metas de atingir 100% em poucos anos, o que demonstra o compromisso do setor em buscar soluções sustentáveis para o uso dos recursos hídricos.

A seguir são citadas algumas tendências e ações do setor mineral para o reúso de água:

- Aprimoramento das operações unitárias de agregação de partículas (coagulação e floculação), por meio do uso de reagentes químicos adaptados às especificidades dos tipos de minérios, bem como de desaguoamento com equipamentos mais eficientes como espessadores de alta taxa e espessadores de pasta, além do uso de filtros cerâmicos, filtros prensa com diafragma, que permitem aumento na recuperação de água de processo.
- Uso de tecnologias avançadas para tratamento da fase aquosa dos rejeitos minerais, como a filtração por osmose reversa e a ultrafiltração, permite a remoção de contaminantes da água, tornando-a adequada para reúso. Esses sistemas são capazes de remover partículas sólidas, íons, metais pesados e outros contaminantes prejudiciais ao processo.
- Uso de tecnologias de dessalinização de água: em regiões onde a água doce é escassa, a dessalinização pode ser uma opção viável para o uso/reúso de água na mineração. Sistemas de dessalinização por osmose reversa ou destilação podem remover o sal e outros minerais da água salobra ou do mar, tornando-a adequada para uso em processos de mineração.

- Sistemas de reciclagem: alguns sistemas de reciclagem avançados estão sendo introduzidos na mineração para maximizar o reúso de água. Esses sistemas capturam e tratam a água utilizada em diferentes processos, como o resfriamento de equipamentos, a lavagem de minério e a supressão de poeira, garantindo que a água seja reutilizada ao invés de ser descartada.
- Parcerias e compartilhamento de recursos: em alguns casos, a mineração pode se beneficiar de parcerias com outras indústrias ou comunidades para compartilhamento de recursos hídricos. Isso permite o aproveitamento de água proveniente de outras fontes, como estações de tratamento de esgoto ou sistemas de água municipais.

Diversas empresas, no Brasil e no mundo, estão focadas no compromisso de aumentar a taxa de reúso de água nas operações de lavra e beneficiamento mineral, desde o aumento na taxa de reúso à disponibilização de água tratada para as comunidades circunvizinhas, e os exemplos são numerosos.

Importante destacar, por ser peculiar, as boas práticas efetivadas pelos pequenos produtores de minerais industriais no Semiárido Nordeste, local de grande escassez de água, também utilizam operações de agregação de particulado fino e sedimentação em tanques sucessivos, para tratamento da água de processo e posterior reúso (Figura 55). Em algumas empresas usa-se a mucilagem da palma forrageira como floculante, para aumentar a eficiência do processo de separação sólido-líquido e, conseqüentemente, a taxa de recirculação da água para o processo de beneficiamento.



Figura 55: Tanques de sedimentação para reúso de água de processo, Juazeirinho, Paraíba. Foto: Suellen Marques.

Assim como as do setor de rochas ornamentais, que também tem apresentado planos de ação para redução no consumo de água nova, com o aumento nas taxas de recirculação de água, por meio do uso de tratamento da água utilizada para o corte de blocos (floculação) e uso de filtros prensa para a separação sólido-líquido e reúso da água (Figuras 56 e 57). A grande maioria das empresas, cuja atividade seja o desdobramento de blocos ou o polimento de chapas, está adotando o sistema de desnível do piso para escoamento de água por gravidade até canaletas para transporte da água e resíduos sólidos do corte até tanques de armazenamento, onde são adicionados polímeros floculantes e posterior separação sólido-líquido, para então recircular a água tratada ao processo (França et al., 2023).



Figura 56: Canaletas para coleta de água do corte das chapas.
Fotos: Ariel Wanis.

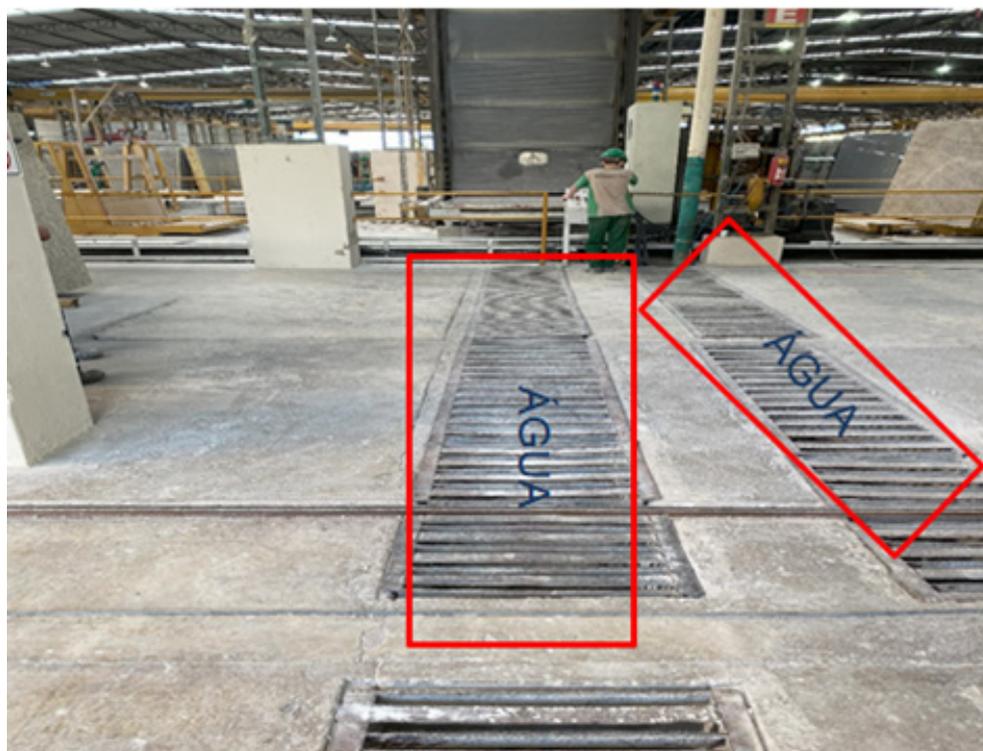


Figura 57: Filtro prensa para a separação sólido-líquido eficiente, que permite reúso de água imediato. Fotos: Ariel Wanis.

2.7.4 Políticas Públicas para Reúso de Água na Mineração

O Governo Federal tem criado programas e projetos com foco na redução do uso da água nos diversos setores. A exemplo, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação apoia um projeto para a realização de diagnóstico sobre tecnologias utilizadas para captação, uso, reúso e descarte da água na lavra e beneficiamento de minérios no Brasil. O projeto é coordenado pelo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM e conta com a parceria do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, ambas Unidades de Pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI (França *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2022).

O referido projeto tem como objetivo realizar o levantamento de informações técnicas operacionais (de campo) para produção de um diagnóstico sobre as tecnologias utilizadas para captação, uso, reúso e descarte da água na lavra e beneficiamento de minérios no Brasil, bem como os percentuais de reúso praticados. Outros projetos são voltados para tecnologias de desaguamento mais eficientes, que permitam a disposição segura de rejeitos e o aumento no reúso de água de processo (Trampus e França, 2019).

Existem várias políticas públicas e programas em todo o mundo que incentivam o reúso de água na mineração. Contudo, é importante ressaltar que tais políticas variam de país para país, dependendo das condições locais e dos recursos hídricos disponíveis. O IBRAM lançou em 2020 um documento sobre políticas públicas para o setor mineral, que engloba a gestão dos recursos hídricos. Alguns exemplos de políticas públicas são relacionados a:

1. Regulamentações de licenciamento ambiental

Muitos países têm leis e regulamentações específicas que exigem que as empresas de mineração implementem práticas de reúso de água. Tais regulamentações promovem a conscientização e a responsabilidade ambiental.

2. Incentivos fiscais e financeiros

Alguns governos oferecem incentivos fiscais, como redução de impostos, para empresas de mineração que desenvolvam e adotem sistemas de reúso de água. Além disso, fundos de investimento podem ser disponibilizados para apoiar projetos de infraestrutura de reúso de água na indústria mineral.

3. Colaboração público-privada

Políticas que incentivam a colaboração entre empresas de mineração e agências governamentais ou organizações não governamentais podem desempenhar um papel importante no estímulo ao reúso de água. Essas parcerias podem envolver compartilhamento de conhecimento, tecnologia e recursos financeiros.

4. Certificações e padrões ambientais

Algumas certificações, como o ISO 14001 (Sistema de Gestão Ambiental), estabelecem diretrizes e normas para a gestão sustentável da água na mineração. O cumprimento desses padrões pode ser um requisito para operar em certos mercados ou para obter financiamento.

É fundamental que as operações de mineração adotem um enfoque sustentável em relação ao uso da água, considerando não apenas as exigências regulatórias, mas também os impactos ambientais e sociais. Além disso, a pesquisa constante por tecnologias mais avançadas e por soluções inovadoras também é essencial para o avanço do reúso de água na mineração.



Fervedouro do Buritizinho, Mateiros, Tocantins.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA



Pôr do sol, rio Solimões, Manacapuru, Amazonas
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

3

A GESTÃO DE BARRAGENS



3.1 A Gestão de barragens no Brasil

- Aline Cristina Leal Costa Da Silva⁵²
- Leandro Mendes da Silva⁵³
- Rogério de Abreu Menescal⁵⁴

3.1.1 Introdução

Como já apresentado, as operações de mineração requerem o acesso seguro e estável a água. Esta se faz necessária nos processos de exploração e beneficiamento do minério. Grandes volumes de água são necessários para processar minério, resfriar e lavar equipamentos de mineração e gerenciar resíduos. Subsidiariamente, os efeitos da interação água-mineração prolongam-se para além do período de operação (após o fechamento, abandono ou reabilitação do local) e seus potenciais impactos devem ser considerados.

O sucesso de uma operação em mineração, portanto, depende em grande parte, da resolução adequada dessas interações e requer considerações tanto sobre variáveis de cunho hídrico-geológico quanto socioeconômicas (urbanização, renda, consumo interno e externo de produtos intensivos em água) e seus impactos sobre o solo e a água. Nesse contexto, a viabilidade técnica e econômica de uma área explorada está condicionada, com muita frequência, ao adequado conhecimento do terreno sob exploração.

A mineração, portanto, está associada à implementação ou potencialização do risco hídrico. A questão é tanto mais aguda quando da presença de usos competitivos da água, em contexto de escassez do recurso natural – quantitativa ou qualitativa. Regiões com baixa disponibilidade de água ou regiões em que há o uso compartilhado de uma mesma fonte são mais suscetíveis a gerar conflitos.

Conseqüentemente, as interações da indústria de mineração com os recursos hídricos são altamente complexas e local-específicas, com impactos potenciais tanto na hidrologia quanto na qualidade da água, ocorrendo em

52 Engenheira Civil lotada na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – email: aline.costa@ana.gov.br

53 Superintendente Adjunto da Superintendência de Regulação de Serviços Hídricos e Segurança de Barragem – email: leandro.silva@ana.gov.br

54 Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – email: rogerio.menesca@ana.gov.br

todos os estágios da vida útil de uma mina. No caso de barragens para armazenamento de rejeitos de mineração, os impactos potenciais ainda podem ser observados após encerradas as atividades de extração mineral, até que concluída sua completa descaracterização. Neste contexto, os riscos de qualidade da água associados à mineração são altamente dependentes da mineralogia e geoquímica do corpo de minério que está sendo extraído. Como a mineralogia e a geoquímica dos depósitos de minério não são homogêneas, os riscos à qualidade da água podem variar à medida que diferentes seções são lavradas, processadas e descartadas.

A exposição do material extraído a processos físico-químicos pode resultar na mobilização acumulada de potenciais poluentes, como observado tanto em barragens de resíduos industriais, como em alguns casos de rejeito de mineração. Esses resíduos, se não forem inertes, serão transformados em fontes potenciais de contaminação hídrica, com a peculiaridade que seus efeitos podem perdurar por longos períodos⁵⁵.

O ciclo econômico também constitui importante variável nos processos que envolvem toda vida útil de uma mina. Uma alta demanda, associada com elevado preço internacional do minério, favorece a exploração de jazidas com baixos teores. Essas jazidas, em contrapartida, são geradoras de maiores volumes de rejeitos, inserindo complexidade na operação do reservatório, na manutenção e nas obras de alteamento dessas estruturas, assim como, também amplia o potencial de danos a jusante. (Botelho et alii, 2021)⁵⁶. Os grandes volumes comumente acumulados em barragens de rejeito de mineração, mesmo aqueles considerados materiais inertes, tem um potencial de dano superior, quando comparado aos reservatórios apenas de água. Dentre os fatores que potencializam os danos, podemos destacar, a exemplo dos casos ocorridos no estado de Minas Gerais, o acúmulo de material (lama) ao longo da área atingida dificultando ou impedindo a retomada das atividades socioeconômicas, assim como o aumento da turbidez da água, capaz de comprometer a captação para abastecimento de comunidades ao longo do corpo hídrico.

Assim, as barragens de rejeitos podem constituir, dado os potenciais poluentes que armazenam, riscos significativos à gestão dos recursos

55 O rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão, por exemplo, pelo método de alteamento a montante, acumulando cerca de 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos do beneficiamento do minério de ferro por via úmida, implicou no deslocamento da massa de rejeitos por todo o vale do Rio Doce (aproximadamente 650 quilômetros), impactando a fauna e a flora em seu percurso, atingindo cerca de 1.587 hectares de vegetação nas suas margens, e populações de 39 municípios, nos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo.

56 Botelho, M. R., Faria, M. P. D., Mayr, C. T. R., & Oliveira, L. M. G. D. (2021). Rompimento das barragens de Fundão e da Mina do Córrego do Feijão em Minas Gerais, Brasil: decisões organizacionais não tomadas e lições não aprendidas. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 46, e16.

hídricos. Segundo Northey et al (2016)⁵⁷, falhas em barragens de rejeitos ocorrem com certa regularidade e são provocadas por causas naturais e humanas. Rompimentos dessas barragens, contudo, exigem uma reflexão aprofundada acerca das lições a se extrair.

■ 3.1.2 A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)

Considerando as causas humanas para o rompimento de barragens, concorrem, principalmente, os fatores gerenciais, de planejamento, da fase construtiva, de operação e de manutenção. Em linhas gerais, as medidas tomadas após os eventos traumáticos ocorridos no Brasil buscaram atacar esses eixos como forma de coibir novos eventos. As grandes repercussões envolvendo a ruptura da barragem de rejeitos da Mineração Rio Verde, em 2001, e da barragem de resíduos da Indústria Cataguases, em 2003, levaram à discussão e à aprovação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelecida pela Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

No contexto de um debate à luz da legislação vigente, é importante destacar os objetivos definidos na PNSB:

- i. garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a fomentar a prevenção e a reduzir a possibilidade de acidente ou desastre e suas consequências;
- ii. regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação, descaracterização e usos futuros de barragens;
- iii. promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;
- iv. 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;
- v. coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;

57 Northey, S. A., Mudd, G. M., Saarivuori, E., Wessman-Jääskeläinen, H., & Haque, N. (2016). Water footprinting and mining: where are the limitations and opportunities?. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1098-1116.

- vi. estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;
- vii. fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.
- viii. definir procedimentos emergenciais e fomentar a atuação conjunta de empreendedores, fiscalizadores e órgãos de proteção e defesa civil em caso de incidente, acidente ou desastre.

Ações de fiscalização da segurança de barragens devem ser realizadas por Órgãos Fiscalizadores de Segurança de Barragens (OFSB), conforme estabelecido pela PNSB, por meio de uma gestão descentralizada⁵⁸, considerando o uso preponderante do reservatório e a dominialidade do corpo hídrico. Assim:

- i. Quando o uso preponderante da barragem é geração de energia hidrelétrica, o fiscalizador é a entidade que concede, autoriza ou registra o uso do potencial hidráulico (ANEEL);
- ii. Quando o uso preponderante da barragem é a disposição final ou temporária de rejeitos de mineração, ou quando se tratar de rejeitos de minérios nucleares, o fiscalizador é a entidade que regula, licencia e fiscaliza as atividades minerárias (ANM);
- iii. Quando o uso preponderante da barragem é a disposição de resíduos industriais, o fiscalizador é a entidade que concede a licença ambiental (IBAMA, OEMAs e OMMAs)⁵⁹; e
- iv. Quando o uso preponderante da barragem é acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico, o fiscalizador é a entidade que outorga o direito de uso dos recursos hídricos, observado o domínio do corpo hídrico (ANA e OGERHs).

Atualmente, o Sistema Nacional de Segurança de Barragens (SNISB) indica a existência de 33 órgãos fiscalizadores de segurança de barragens ativos.

58 A entidade que zela pela implementação da PNSB é o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), estabelecendo diretrizes para sua implementação, aplicação de seus instrumentos e atuação do SNISB.

59 Em alguns estados do Brasil, tanto a outorga do direito de uso dos recursos hídricos de barragens de acumulação de água, como o licenciamento ambiental de barragens de contenção de resíduos industriais são realizados pelo mesmo órgão, tornando-os fiscalizadores de ambos os tipos de barragem quanto à sua segurança.

A PNSB se aplica a um universo finito de barragens, definidas no art. 1º da Lei Federal nº 12.334, de 2010. Somente as estruturas que possuam uma ou mais das seguintes características se submetem à PNSB:

I - altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros;

II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas;

V - categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador.

O dano potencial associado à barragem é definido como aquele “que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais”, enquanto a categoria de risco é definida como “classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre”.

Assim, para as barragens enquadradas na PNSB, deve ser elaborado o Plano de Segurança da Barragem (PSB), documento que consolida todas as informações referentes à segurança da barragem, como dados do empreendedor, dados técnicos do empreendimento, estrutura organizacional da equipe de segurança da barragem, procedimentos de operação, inspeção, manutenção e monitoramento, assim como comandos específicos ditados pela norma⁶⁰.

Assim como o PSB, o Plano de Ação de Emergência (PAE)⁶¹, as inspeções regulares e especiais e a Revisão Periódica de Segurança da Barragem (RPSB) requerem regulamentação por parte dos OFSBs para definição da forma de atuação na gestão de segurança das barragens por parte dos atores envolvidos, seja o próprio OFSB ou o empreendedor da barragem.

60 O nível de exigência dos documentos deve considerar a classificação da barragem em relação ao Dano Potencial Associado e à Categoria de Risco.

61 No caso de barragens de rejeito mineral a elaboração do PAE é obrigatória para todas as barragens, independentemente da classificação quanto ao dano potencial associado e à categoria de risco.

Tal regulamentação define a forma de apresentação destes documentos, a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento.

Simultaneamente, a PNSB criou como instrumento o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), disponível em <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/inicio>, para o registro informatizado das condições de segurança de barragens em todo o território nacional. Cabe à ANA organizar, implantar e gerir este sistema.

Os dados disponibilizados no SNISB são obtidos e produzidos de forma descentralizada, seguindo as diretrizes do CNRH e critérios complementares editados por cada Órgão Fiscalizador de Segurança de Barragens. Cada OFSB é responsável por inserir no SNISB as informações e documentações das barragens sob sua competência fiscalizatória.

De modo a garantir o acesso aos dados e informações à sociedade de forma transparente e de fácil visualização, o SNISB possui o Portal Cidadão, contendo informações sobre quem é o órgão fiscalizador, o empreendedor, localização e classificação quanto ao enquadramento na PNSB, além de mapas interativos que permitem a visualização geográfica de cada empreendimento.

Outro instrumento da PNSB é o Relatório de Segurança de Barragens (RSB), cuja responsabilidade de coordenar a sua elaboração foi atribuída à ANA. O RSB é elaborado a partir dos dados registrados no SNISB e de informações complementares relatadas pelos OFSBs, e deve ser enviado, anualmente, ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos para apreciação.

O conteúdo mínimo do Relatório foi definido pelo CNRH e traz um retrato da implementação da PNSB no Brasil, incluindo o número de barragens cadastradas e classificadas quanto ao seu enquadramento na Política, número de acidentes e incidentes, normativos de regulamentação dos OFSBs, equipes disponíveis para ações de regulação e fiscalização de segurança de barragens e indicação das barragens prioritárias para a gestão de segurança. Após a sua publicação, os RSBs são disponibilizados à sociedade por meio do SNISB, em <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/documentos-e-capacitacoes/rsb>.

Posteriormente, em resposta aos acidentes de Mariana e Brumadinho, a PNSB foi alterada, por meio da Lei Federal n.º 14.066, de 30 de setembro de 2020. A lei resultante buscou, portanto, esclarecer as lacunas identificadas na legislação anterior, reforçando o poder discricionário do regulador em alterar padrões de classificação de risco e concedendo maior autonomia na sanção de condutas desviantes. Estas alterações incluíram maiores exigências para barragens de rejeito mineral. Como exemplo, a PNSB

agora proíbe a construção ou o alteamento de barragem de mineração pelo método a montante. Essa revisão legal desencadeou uma atualização da regulamentação infralegal da PNSB, em vista da necessidade de compatibilização com as novas disposições da PNSB.

De forma complementar e no âmbito da respectiva competência, foram publicadas legislações na esfera estadual, tal como a Lei nº 23.291/2019, do estado de Minas Gerais. Essa lei específica vedou a concessão de licenças ambientais, para operação ou ampliação, de barragens de resíduos construídas com alteamento à montante. Em outro contexto, os normativos complementares também permitiram avanços como a melhoria da qualidade das informações das barragens – consequência da melhor identificação, cadastro, regularização e classificação de barragens pelos fiscalizadores – trazendo como produto a redução do percentual de barragens sem informações mínimas.

Mais recentemente, o Governo Federal editou o Decreto nº 11.310, de 26 de dezembro de 2022, que regulamenta dispositivos da Lei nº 12.334, de 2010, para dispor sobre as atividades de fiscalização e a governança federal da PNSB. Criou-se, ainda, o Comitê Interministerial de Segurança de Barragens, composto por representantes de diversos órgãos da administração pública federal, responsável por definir, coordenar e monitorar programas e processos que viabilizem à implementação da PNSB.

Em linhas gerais, o Decreto reforça a necessidade de uma governança federal eficiente, envolvendo não somente os órgãos fiscalizadores de segurança de barragens, mas também as entidades responsáveis pela defesa civil e segurança nacional, bem como de tomadores de decisão a nível federal, conforme quadro 1.

Quadro 1: Governança federal no âmbito do Decreto nº 11.310, de 2022.

Além de regulamentar pontos relativos à fiscalização de segurança de barragens, o Decreto nº 11.310, de 2022, define os órgãos e entidades componentes da governança, no âmbito federal, relativa à PNSB:

Art. 12. São órgãos e entidades componentes da governança, no âmbito federal, relativa à Política Nacional de Segurança de Barragens:

- I - Casa Civil da Presidência da República;
- II - Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República;
- III - Ministério da Agricultura e Pecuária;
- IV - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação;

V - Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional;
VI - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima;
VII - Ministério de Minas e Energia;
VIII - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama;
IX - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA;
X - Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel;
XI - Agência Nacional de Mineração - ANM;
XII - Agência Nacional de Segurança Nuclear - ANSN;
XIII - Comitê Interministerial de Segurança de Barragens; e
XIV - Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

Além disso, o Decreto define responsabilidades específicas para o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional e para o Ministério de Minas e Energia, no que concerne à elaboração de políticas públicas:

Art. 13. Compete ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional elaborar e conduzir políticas públicas relacionadas à segurança de barragens, para barragens de acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico, e coordenar a elaboração de plano com a definição de estratégias, prioridades, metas e indicadores de implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens.

(...)

Art. 14. Compete ao Ministério de Minas e Energia elaborar e conduzir políticas públicas relacionadas à segurança de barragens, para barragens de acumulação de água para fins de aproveitamento hidrelétrico e de mineração.

Outro ponto trazido pelo Decreto é a necessidade de articulação permanente entre os órgãos fiscalizadores e o órgão de proteção e defesa civil federais, para que suas ações sejam coordenadas e integradas na implementação da PNSB. ANA, ANEEL, ANM, Ibama e a Secretária Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC/MIDR) formalizaram essa parceria mediante a celebração de Acordo de Cooperação Técnica.

Dentre os objetivos legais desse fórum de articulação permanente, há a proposição de protocolos para atuação coordenada ou conjunta de fiscalização de barragens ou em situações de emergência, e o compartilhamento de informações e aprendizados sobre acidentes e incidentes que envolvam barragens.



Barragem do Açude Orós, Ceará.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

3.1.3 Panorama da implementação da PNSB no Brasil

Como dito anteriormente, o RSB busca apresentar o estágio de implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens no território nacional. As informações que subsidiam o relatório são obtidas de forma descentralizada, a partir de dados e informações levantadas pelos órgãos fiscalizadores de segurança de barragens.

Os dados apresentados no RSB 2022⁶² demonstram o crescimento no número de barragens cadastradas no SNISB, assim como o constante aumento nas classificações quanto ao DPA e ao CRI.

Entre 2011 e 2022, o número de barragens cadastradas pelos fiscalizadores aumentou em 36%, passando de 13.529 para 23.977 barragens. Já as estruturas classificadas quanto ao enquadramento ou não na PNSB passaram de 1.604 em 2014, para 10.539 em 2022, um aumento de 557%. Do total de 10.539, somente 5.665 barragens encontram-se enquadradas na Política, devendo os respectivos empreendedores cumprirem com as obrigações estabelecidas, incluindo, dentre outros, a elaboração do Plano de Segurança da Barragem.

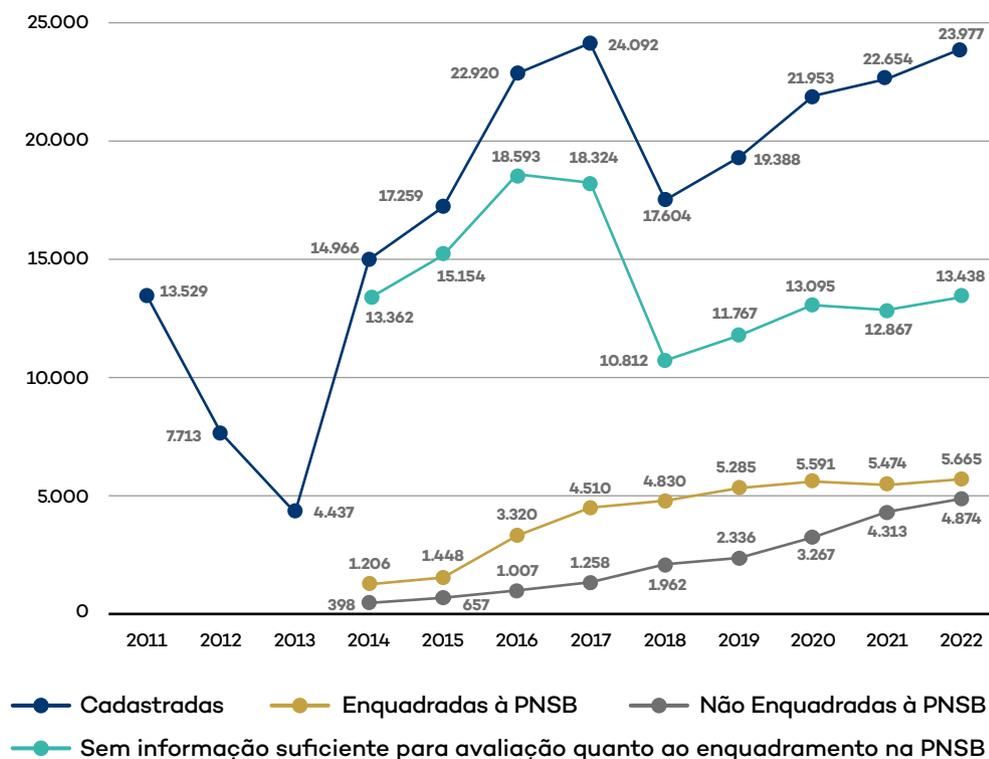


Figura 58: Evolução do cadastro de barragens no SNISB.

Fonte: RSB, 2022.

⁶² disponível em <https://www.snisb.gov.br/porta1-snisb/api/file/download/463/4/rsb-2022.pdf>

O RSB 2022 traz também a evolução no número de barragens classificadas quanto ao DPA e ao CRI. No intervalo de 2013 para 2022, o número de barragens classificadas quanto ao DPA cresceu em 717%, de 1.245 em 2013 para 10.171 em 2022. Já em relação à classificação quanto ao CRI, houve um crescimento de 613% no mesmo período, passando de 1.267 para 9.304.

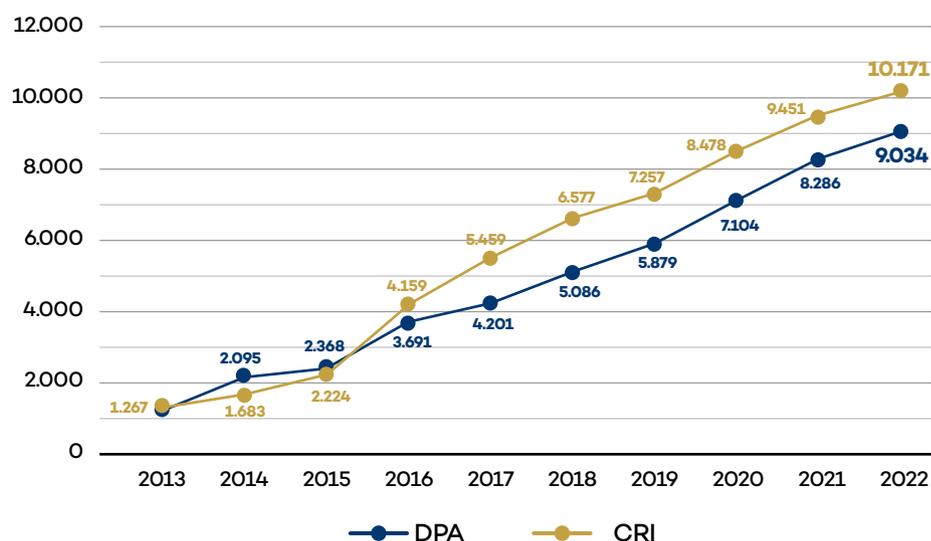


Figura 59: Evolução da classificação de barragens.

Fonte: RSB, 2022.

Essas informações demonstram o comportamento ascendente da curva de barragens classificadas quanto ao DPA, ao CRI e ao enquadramento ou não na PNSB, demonstrando um avanço pelos diferentes órgãos fiscalizadores na sua implementação.

Salienta-se que as dimensões continentais de nosso país e sua disponibilidade de recursos hídricos propiciam o desenvolvimento econômico e social baseado em fontes hídricas, que comumente se beneficiam do uso de reservatórios artificiais.

Outra informação relevante trazida pelo RSB é a lista das chamadas “barragens prioritárias para ações de gestão da segurança”, indicadas pelos respectivos OFSBs. Essas barragens são definidas como aquelas que devem receber maior atenção e prioridade para atuação dos OFSBs junto aos respectivos empreendedores, devido ao potencial de dano humano e ao seu estado de conservação. Cada fiscalizador define os seus critérios para inclusão de uma barragem como prioritária, como a concomitância de dano potencial associado e categoria de risco altos, ou a verificação de anomalias estruturais nos barramentos.

Apesar dos avanços verificados nas diferentes esferas, percebe-se ainda um longo caminho a ser percorrido pelos órgãos fiscalizadores e pelos empreendedores relacionados na implementação aos diferentes instrumentos da Política. De acordo com os dados do RSB 2022, 13.848 (ou 56% do total de barragens cadastradas no SNISB) não dispõem de informações suficientes para a avaliação quanto ao enquadramento ou não na PNSB.

Todavia, ainda há um universo ainda desconhecido de barragens que sequer foram identificadas e cadastradas no SNISB, o que pode elevar a quantidade de barragens existentes no Brasil, e cujas informações mínimas são desconhecidas pelos fiscalizadores.

Conhecer o universo de barragens existente é, portanto, passo essencial para se definir estratégias de acompanhamento pelos respectivos órgãos fiscalizadores. O cadastro das barragens no SNISB deve conter a identificação do empreendedor, responsável pela adequada manutenção do barramento, bem como a classificação quanto ao enquadramento ou não na PNSB. Ao se ter conhecimento dessas informações, pode o fiscalizador atuar sobre as situações críticas identificadas, cobrando providências e atuando diretamente junto aos órgãos responsáveis de defesa civil regionais e locais.

Contudo, observa-se a carência de informações, mesmo para as barragens identificadas no SNISB, que se enquadram na Política. Somente 29% das estruturas tiveram seu Plano de Segurança de Barragens concluído, sendo a maioria de barragens cujo uso principal é a geração de energia hidrelétrica e a contenção de rejeitos de mineração. Já as barragens de acumulação de água, que correspondem a 95% das barragens cadastradas no SNISB, são as que apresentam maior dificuldade de evolução, devido à menor capacidade econômica da maioria dos empreendedores do setor, para elaborar e implementar o PSB, em função dos altos custos associados e à escassez de profissionais aptos para a prestação do serviço.

O PSB enquanto instrumento da Política permite conhecer as características construtivas e gerenciais da barragem, incluindo a definição da atuação em situações de emergência, os contatos dos responsáveis por garantir a adequada segurança da barragem e os demais protocolos a serem seguidos.

Outro desafio que a PNSB enfrenta é a carência de recursos para que os OFSBs dos diversos entes federativos. Faz-se, portanto, necessário o apoio dos governos de diferentes esferas para que os órgãos fiscalizadores possam melhor se estruturar e ampliar a articulação com o objetivo de identificar, cadastrar, classificar e fiscalizar as barragens existentes no Brasil. Uma PNSB bem implementada minimizaria os riscos de eventuais acidentes e, no caso da ocorrência de um, que os atores envolvidos e a população local estejam preparadas para se evitar perdas de vidas e reduzir os demais danos ambientais, econômicos e sociais associados.

3.2 Lições aprendidas e a evolução na segurança de barragens de mineração

- Julio César Nery Ferreira⁶³

Sempre devem ser lembrados e lamentados, notadamente pelo setor mineral, os terríveis efeitos dos desastres com barragens de mineração em Minas Gerais, como Mariana, em 2015, e Brumadinho, em 2019, que resultaram em perdas de muitas vidas, em grandes impactos ambientais, sociais e econômicos, e tanto sofrimento causaram e continuam a causar nas famílias.

Este não é um livro sobre barragens. Tanto a ANA quanto o IBRAM possuem publicações nesta especialidade, mas essas estruturas são fundamentais para o uso de água pelo setor minerário, no controle de efluentes. Por isso é fundamental que o tema seja tratado nesta publicação.

O setor tem o dever de analisar profundamente o ocorrido, suas causas fundamentais e seus efeitos, e trabalhar para aperfeiçoar a tecnologia usada em suas operações, para que desastres não se repitam. Como bem definido no Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos (GISTM, sigla em inglês), “procura atingir o objetivo final de evitar qualquer dano às pessoas e ao meio ambiente (zero dano), com tolerância zero para fatalidades humanas”. Este deve ser o objetivo, o dever do setor mineral.

Com base nessas análises muito foi feito. A atuação do IBRAM, como representante do setor mineral, tem sido pautada pelo trabalho intenso e ininterrupto junto aos seus associados, visando compreender as lições e os aprendizados que foram gerados pelos desastres, trabalhando com afinco para o incremento da segurança de barragens na mineração. Garantir a segurança das estruturas de mineração é prioridade absoluta para o IBRAM e seus associados, seja na regulamentação do setor minerário pelos poderes constituídos, na evolução das técnicas utilizadas nas estruturas para disposição de rejeitos, seja na autorregulamentação do setor para essas estruturas. Neste texto serão comentadas essas iniciativas.

⁶³ Engenheiro de Minas. Diretor de Sustentabilidade do Instituto Brasileiro de Mineração/IBRAM.
Email: julio.nery@ibram.org.br

■ 3.2.1 A evolução do Arcabouço regulatório

É importante ressaltar a pronta resposta regulamentadora dada pelos Poderes Executivo e Legislativo nos âmbitos do estado de Minas Gerais e em nível federal, com a edição de pelo menos 27 diplomas legais a partir de 2017, buscando incrementar a segurança das operações das barragens de mineração. Podemos dizer, com certeza, que hoje o Brasil dispõe de um quadro regulador que traz maior segurança para a população e, principalmente, de maior transparência em relação à informação sobre a segurança de barragens no Brasil.

Na evolução da regulamentação, os principais destaques devem ser dados a:

- Lei Estadual 23.291/2019 – Política Estadual de Segurança de Barragens de Minas Gerais;
- Edição pelo ICMM do Padrão Global para Gestão de Rejeitos (GISTM) em agosto de 2020;
- Lei 14.066/2020, que revisou a lei 12334/2010 – Política Nacional de Segurança de Barragens, sancionada em setembro de 2020;
- Resolução Conjunta Semad/IEF/Igam/Feam nº 3.049/2021, que regulamenta as diretrizes para a apresentação do Plano de Ação de Emergência (PAE) das barragens
- Resolução 95/2022 ANM, que consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração, reunindo todas as exigências das resoluções anteriores da ANM, ampliando-as e definindo as práticas regulatórias aplicáveis para as barragens de mineração.

Destaque deve ser dado também para a iniciativa da ANM, com a implementação do Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM), reconhecido hoje como um dos mais avançados do mundo. Qualquer cidadão pode ter acesso integral às informações sobre a segurança de barragens de mineração no Brasil, por intermédio desse Sistema.

Merece destaque ainda o papel pivotal que o Congresso Nacional desempenhou no aperfeiçoamento regulatório sobre segurança de barragens no Brasil.

Logo após o desastre de Brumadinho, houve a criação de duas CPIs e de uma Comissão Externa no Congresso, que debateram intensamente a segurança de barragens no país, com a promoção de múltiplas audiências públicas, reuniões técnicas e seminários, sobre os mais variados aspectos da legislação. Vários projetos de lei foram propostos e debatidos. Todas

as partes interessadas tiveram a oportunidade de se manifestar, inclusive o próprio IBRAM, que participou das audiências públicas e discussões no Congresso Nacional.

Dentre esses projetos de lei, fruto das CPIs e do CEXBRUMA (Comissão Externa de Acompanhamento das Investigações Relacionadas ao Rompimento de Brumadinho – Relator Deputado Júlio Delgado), destaca-se o PL 550, que propunha modificações importantes na Política Nacional de Segurança de Barragens, de autoria da Senadora Leila Barros.

Após o intenso debate, houve uma convergência de visões entre os diversos atores de que a aprovação do PL 550 endereçaria a maior parte das preocupações dos parlamentares. Dessa forma, a partir do trabalho de vários parlamentares, que atuaram no PL 550 ao longo de sua tramitação no Congresso Nacional, ele foi aprovado em setembro de 2020, tendo sido transformado na Lei 14.066/2020, que trouxe profundas mudanças na gestão e na governança da segurança de barragens de mineração.

Nesse contexto, é louvável a contribuição que o Congresso Nacional deu para a sociedade brasileira, com a aprovação de umas das mais modernas e abrangentes legislações de segurança de barragem do mundo, que passou a ser um referencial global.

■ 3.2.2 Avanços na autorregulamentação do setor

É importante compreender que os desastres resultaram em mudanças globais no regulatório aplicado a barragens, onde destacamos a criação do Padrão Global da Indústria para Gestão de Rejeitos, conhecido em inglês pela sigla GISTM (*Global Industry Standard on Tailings Management*), que tem como objetivo final evitar qualquer dano às pessoas e ao meio ambiente (zero dano), com tolerância zero para fatalidades humanas. O padrão exige a divulgação de informações relevantes que suportem a prestação de contas e a responsabilização pública, priorizando o diálogo com as comunidades.

O GISTM foi um movimento liderado pelos financiadores globais da mineração, que passaram a exigir novos padrões de desempenho, transparência e de segurança das estruturas de mineração, como condição para continuarem a financiar o setor.

O Padrão exige que os operadores assumam a responsabilidade e priorizem a segurança das estruturas de disposição de rejeitos, ao longo de todas as fases do seu ciclo de vida, inclusive nas fases de fechamento e pós-fechamento.

O IBRAM trabalha para melhorar as práticas do setor com relação às barragens de mineração, por meio das seguintes iniciativas:

- Estímulo à adoção do GISTM junto aos seus associados;
- Adoção da Agenda ESG, ou Carta compromisso do IBRAM perante a sociedade, de 09/09/19 e composição de grupos de trabalho para 12 temas identificados como críticos;
- Implantação do TSM e seu protocolo de Estruturas para a Disposição de Rejeitos. O TSM tem por objetivo possibilitar que a indústria mineral atenda às necessidades da sociedade no que diz respeito às demandas por produtos da cadeia do setor, de maneira mais responsável em termos sociais, ambientais e econômicos. É um sistema de avaliação desenvolvido pela MAC – Mining Association of Canada, que permite a avaliação de desempenho de forma anual, consistindo de auditorias internas e externas

Os protocolos e indicadores que descrevem como deve ser essa avaliação abordam os temas de Gestão da Conservação da Biodiversidade, Planejamento de Gerenciamento de Crise e Comunicação, Gestão de Energia e de Emissões de Gases de Efeito Estufa, Relações com Comunidades e com Povos Indígenas, Verificação da Prevenção do Trabalho Infantil e Trabalho Forçado, Saúde & Segurança, Gestão da Água e Gestão de Rejeitos. Para esse último, os indicadores são a Política de Gestão de Rejeitos e Compromisso, o Sistema de Gestão de Rejeitos e Preparação para Emergências, a Prestação de Contas e Responsabilidade pela Gestão de Rejeitos, a Revisão Anual da Gestão de Rejeitos e o Manual de Operação, Manutenção e Controle. O IBRAM traduziu e adaptou esses protocolos para a realidade brasileira, levando em consideração as diferenças na regulamentação e nas condições operacionais;

- Edição de Guias de Boas Práticas para implantação e gestão de estruturas de disposição de rejeitos;
- Revisão, em conjunto com a ABMS (A Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica), das normas técnicas ABNT NBR 13028 Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água para Pilhas e Barragens de Mineração e NBR13029 Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. Essas normas, existentes desde a década de 1990, são periodicamente revisadas sob a responsabilidade do IBRAM, sendo que a revisão anterior foi publicada em 2017. As minutas desses

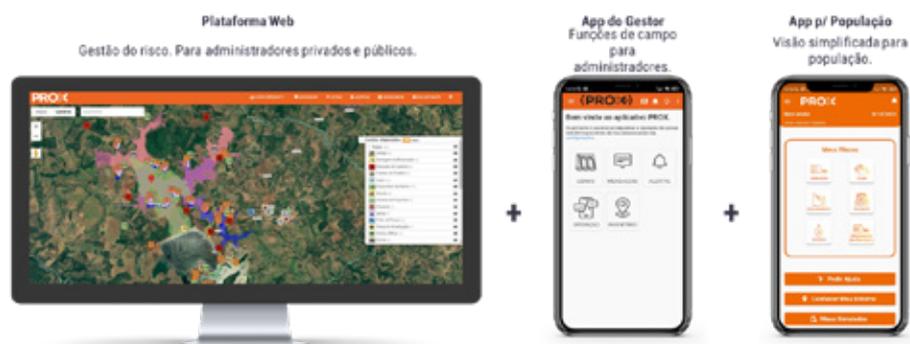
textos deverão ser colocadas em consulta pública, para sua posterior publicação. A Comissão de Estudo Especial (CEE-220) – Elaboração de Projetos para Disposição de Rejeitos e Estéreis em Mineração, estuda neste processo a elaboração de norma específica para os empilhamentos de rejeitos. É importante citar que o IBRAM responde pelo secretariado da referida Comissão

- Desenvolvimento e disponibilização, para a sociedade, do PROX (Figura 60), contendo as informações sobre as barragens de mineração. A implantação desse aplicativo para celulares e desktops iniciou-se com a assinatura de Termo de Cooperação Técnica entre CEMIG, desenvolvedora da Plataforma Proximidade, que trazia as informações referentes às barragens das suas hidroelétricas e o IBRAM, objetivando a inserção, na plataforma, de riscos com barragens de mineração.

A plataforma passou a ser um Sistema de Gestão de Dados de Riscos, a partir do compartilhamento da Plataforma Proximidade e da construção de novas funcionalidades, com delineamento de três etapas básicas:

- Auxiliar as defesas civis municipais por meio da padronização de procedimentos, da criação de banco de dados de gestão de risco e do cadastro dos moradores na ZAS (Zona de Autossalvamento). Existe também a possibilidade de se fazer o cadastro para não residentes nessas zonas;
- Permitir à população acesso às informações sobre riscos em seu município e orientação sobre autoproteção;
- Otimizar a comunicação e viabilizar a elaboração de Planos de Contingência e de Emergência, com a visão compartilhada dos riscos de barragens no território. O aplicativo possui funcionalidade para a execução dos simulados de barragens.

Hoje já são 15 mineradoras associadas, com convênios e cooperação com a Defesa Civil nacional, a Defesa Civil estadual de MG e o Corpo de Bombeiros de MG, além da Defesa Civil de 3 municípios.



VERSÕES: WEB, APP GESTOR, APP POPULAÇÃO

- Informações das barragens
- Informações hidrológicas
- Outros riscos
- Informações de pontos
- Integração automática
- App População
- Alertas e mensagens
- Simulados
- Relatórios

Disponível para todos os tipos de Celulares.

Figura 60: Prox: esquema geral.

3.2.3 Lições aprendidas e avanços tecnológicos nas estruturas de disposição de rejeitos

Conforme já destacado, a evolução da regulamentação do setor levou à necessidade de implantação inovações importantes na operação das barragens de rejeito. Dentre elas, destaca-se:

- Determinação da descaracterização das barragens a montante, proibindo novos alteamentos e estabelecendo prazos para a descaracterização destas estruturas;
- Estabelecimento de padrões para fatores de segurança a serem considerados para os cálculos referentes às estruturas;
- Exigência da instalação de instrumentação automatizada para monitoramento das barragens, com acompanhamento em tempo integral para barragens com Dano Potencial Alto (DPA);
- Exigência da instalação de sistemas automatizados de acionamento de sirenes nas Zonas de Autossalvamento (ZAS), aquelas em trecho à jusante da barragem em que não há tempo suficiente para in-

tervenção da autoridade competente em situação de emergência, conforme mapa de inundação;

- e. Exigência para os empilhamentos drenados, construídos por meio de disposição hidráulica dos rejeitos e que sejam suscetíveis a liquefação, similares às exigências estabelecidas para as barragens a montante;
- f. Determinação de instalação e manutenção dos Centros de Monitoramento Geotécnico, que devem operar diuturnamente. Nesses Centros, que devem existir em cada empresa que opera uma barragem com essa demanda, há conexão com a instrumentação automatizada da barragens, e geotécnicos presentes diuturnamente, que efetuam a análise desta instrumentação e acompanham a visualização das condições da barragem por meio de câmeras instaladas para esse fim, outra exigência legal, permitindo a detecção antecipada de qualquer tipo de problema e sua análise por profissional capacitado;
- g. Mudança nos critérios de cálculo dos sistemas extravasores para atendimento de valores exigidos para as condições climáticas extremas, o que possibilitou o atendimento dessas vazões anômalas, decorrentes de intensas precipitações.
- h. Determinação de periodicidade para as inspeções nas estruturas e para as formas de informação às autoridades
- i. Determinação da revisão das manchas de inundação (em caso de falha) com novos parâmetros, mais rígidos;
- j. Consolidação da emissão das Declarações de Condição de Estabilidade – DCE, que devem ser individualmente assinadas pelo consultor EXTERNO e pelo representante legal pelo empreendimento;
- k. Determinação da obrigatoriedade de designação de um Engenheiro de Registro (EdR ou EoR) para as barragens de DPA alto, profissional que acompanhará a evolução da estrutura, avaliará a estrutura e emitirá relatórios continuamente, que considerem os objetivos de segurança da estrutura em todo seu ciclo de vida;

Dentre os avanços, serão descritos os dois processos mais significativos nesse tipo de operação: a descaracterização de estruturas de barragens e o empilhamento de rejeitos desaguados.

3.2.3.1 Descaracterização de estruturas de barragens

A proibição do uso do método de alteamento a montante ocorreu tanto na lei 23.291/2019 PESB MG quanto na lei federal 14.066/2020. Nelas se determinou também a descaracterização destas estruturas. Foi definida como descaracterizada a barragem que: "... não opera como estrutura de contenção de sedimentos ou rejeitos, não possuindo características de barragem, e que se destina a outra finalidade." De acordo com a ANM, em 2019 existiam no Brasil 74 barragens construídas pelo método a montante, e em agosto 2023 existiam 57 estruturas remanescentes, sendo que 15 foram descaracterizadas, 8 tiveram seu registro alterado para outro método, e 6 foram reclassificadas na categoria "a montante ou desconhecido". Esse movimento para descaracterização de estruturas é inédito em nível mundial, exigindo das mineradoras o desenvolvimento de tecnologias para execução dos trabalhos nos prazos acordados com os órgãos fiscalizadores.

A descaracterização de uma barragem pode ser feita pelos seguintes métodos:

- Estabilização da estrutura geotécnica;
- Construção de um aterro estruturante a jusante;
- Remoção parcial do rejeito e do maciço da barragem;
- Remoção total do rejeito e do maciço da barragem.



Figura 61: Barragem Fernandinho – Mina Mar Azul – Nova Lima MG, após descaracterização. Foto: Cortesia Vale S.A.

(A obra da barragem Fernandinho, durou aproximadamente um ano e gerou cerca de 540 empregos diretos. Foram retirados aproximadamente 560 mil metros cúbicos de rejeito.)

Para as barragens em nível de emergência, e são 3 no nível 3 (o mais alto) e 6 no nível 2, há necessidade de remoção das pessoas residentes na ZAS e remoção de trabalhadores; dessa forma o trabalho deve ser feito com equipamentos autônomos, isto é, operados remotamente.

Essa operação, neste tipo de atividade, é inédita, tendo sido necessário o desenvolvimento de tecnologia para sua execução. Sua primeira utilização foi na Mina Mar Azul, em Nova Lima – MG, mostrada na Figura 62.



Figura 62: Descomissionamento da Barragem B3/B4 , Mina Mar Azul, em Nova Lima – MG , com equipamentos autônomos. Foto: Jornal O Globo.

■ 3.2.3.2 Empilhamento de rejeitos desaguados

O empilhamento de rejeitos era executado principalmente para rejeitos com características drenantes, nos chamados empilhamentos drenados. Algumas empresas já utilizavam técnicas de codisposição de estéréis e rejeitos, notadamente quando o volume de estéril excedia em muito o de rejeitos.

Após os desastres ocorridos, o licenciamento para novos barramentos foram se tornando mais complexos e mais demorados. Esse fator, aliado à evolução ocorrida nos processos de desaguamento, principalmente com o uso de filtragem a vácuo, seja em filtros prensa, verticais ou centrífugas, permitiram a adoção das técnicas do empilhamento controlado dos rejeitos, já em execução em diversas empresas e cada vez mais adotado nos projetos de mineração, minimizando o uso de barragens pelo setor.

A Figura 63 mostra diferentes opções para o empilhamento de rejeitos. É importante destacar que esse empilhamento deve ser feito com cuidadoso controle, instrumentação adequada, execução em camadas finas com compactação, e rigoroso controle tecnológico. A prévia investigação detalhada do terreno de fundação e da hidrogeologia local é fundamental para um bom projeto destes empilhamentos.

GESTÃO DE REJEITOS DESAGUADOS



**Pilhas de Rejeitos Arenoso
(Peneirado)**



**Pilhas de Rejeitos Filtrado
(Filtro prensa)**



**Codisposição
(Decanter/Baias/Cava)**

Figura 63: Uso do empilhamento de rejeitos desaguados.

Na fase do desagamento, o uso de floculantes modificadores de reologia para processos de separação sólido/líquido e para o processo de gestão e disposição de rejeitos, deve ser feito pelos especialistas do beneficiamento mineral, visando a otimização das condições de filtração para a redução da umidade dos rejeitos para empilhamento.

O uso da filtração é importante para a gestão da água na indústria de mineração, podendo oferecer uma contribuição essencial para atingir as metas de economia de água. Seus benefícios auxiliam na redução do consumo de água nova, maximização da recuperação de água de processos e redução no uso de energia.

■ 3.2.4 Conclusão

Obras de engenharia sempre terão um grau de risco associado. A função do técnico é fazer com que esse risco seja minimizado, de forma a evitar qualquer tipo de evento fora de controle. A mineração e a sociedade continuarão a conviver com barragens para diversas finalidades, e com um bom projeto e uma gestão adequada, que acompanhe a evolução e execute as manutenções dentro do planejamento prévio, essa convivência pode ocorrer de forma segura, atingindo os objetivos do Padrão Global de Zero Dano ambiental e ao ser humano.

Neste texto foram apresentados os avanços ocorridos, tanto na regulamentação que rege as estruturas de disposição de rejeitos quanto nas técnicas utilizadas pelas mineradoras. O grande objetivo dessas providências é a busca citada pelo padrão global, e certamente esses avanços contribuirão positivamente para que os objetivos sejam alcançados, trazendo maior confiabilidade e segurança para essas estruturas.



Escarpas do Lago de Furnas, capitólio, Minas Gerais.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

3.3 Disposição de rejeitos de mineração em barragens

- Joaquim Pimenta de Ávila⁶⁴
- Ayla Margie de Leão Craig⁶⁵
- Giani Aparecida Santana Aragão⁶⁶
- Rodrigo Rodrigues Vieira de Oliveira⁶⁷

3.3.1 Introdução

As estruturas de contenção como barragens são utilizadas para diversas finalidades, podendo mencionar o armazenamento de rejeito/resíduo, geração de energia, fornecimento de água e controle de cheias. Trata-se de estruturas relevantes no contexto socioeconômico, propiciando a acumulação de água e a regularização de vazões, o desenvolvimento tecnológico e melhor qualidade de vida para a sociedade.

Em se tratando especificamente das barragens de mineração, observa-se que, ao longo da evolução do setor mineral, essas estruturas são consideradas peças chaves no processo operacional, devido à boa relação custo-benefício proporcionada pelo aproveitamento do mineral de interesse e o descarte da parte desprovida de valor econômico. De forma adicional, também assumem papel importante para o balanço hídrico da mina como um todo, já que podem armazenar a água liberada pelo rejeito, utilizando no processo de beneficiamento, sanando um dos principais problemas enfrentados pela indústria mineral: a disponibilidade hídrica.

Em razão do ascendente crescimento da produção mineral, as barragens têm alcançado dimensões cada vez mais robustas e complexas. A depender do processo de beneficiamento, da característica e volume do rejeito disposto, bem como da quantidade de água armazenada no reservatório, as etapas construtivas não são triviais, resultando em projetos desafiadores.

Nesse contexto, como qualquer outra atividade, a operação das barragens de rejeito apresenta riscos que, quando não identificados e tratados corretamente, podem ocasionar graves consequências às pessoas, propriedades

64 Consultor em barragens, Presidente do Conselho Societário da Pimenta de Ávila Consultoria. E-mail: joaquim.pimenta@pimentadeavila.com.br

65 Engenheira Ambiental/Geotécnica na Pimenta de Ávila. E-mail: ayla.leao@pimentadeavila.com.br

66 Coordenadora de Gestão de Risco, Segurança e Emergência na Pimenta de Ávila Consultoria. E-mail: giani.aragao@pimentadeavila.com.br

67 Diretor Técnico da Pimenta de Ávila Consultoria. E-mail: rodrigo.oliveira@pimentadeavila.com.br

e meio ambiente. Tal condição impõe dificuldades ao empreendedor nas fases preliminares de licenciamento, na operação segura dessas estruturas, como também, durante a etapa de fechamento e pós-fechamento.

Esta situação se agrava quando o rejeito disposto possui baixo teor de sólidos e elevada quantidade de água (polpa), resultante de um beneficiamento convencional. Em razão do teor de umidade presente na polpa, as características reológicas do rejeito se alteram, influenciando diretamente na mobilidade, na resistência ao cisalhamento e na tensão limite de escoamento. Diante disso, em uma eventual situação de ruptura desse tipo de estrutura, as consequências do evento podem se propagar por grandes extensões, aumentando consideravelmente o risco associado.

Os acidentes envolvendo barragens de mineração no Brasil comprovaram essa condição. As extensas manchas de inundação propiciaram danos irreversíveis, como perda de vidas e alguns impactos ambientais que afetaram corpos hídricos importantes à manutenção da vida aquática e ao abastecimento das cidades.

Reflexo dos danos causados pelas falhas nas barragens de mineração, a sociedade tem se conscientizado dos elevados riscos associados à manutenção dessas estruturas, e vem reivindicando pela garantia da segurança na disposição de rejeitos, objetivando soluções mais eficazes no contexto de uma gestão operacional.

Aliado a isto, observa-se ainda a urgência no desenvolvimento de meios alternativos para suprimento de água, fundamental para a viabilidade do processo de beneficiamento. Diante disso, outros métodos de disposição foram se desenvolvendo ao longo dos anos, sendo alguns deles apresentados a seguir.

Nos estágios iniciais do desenvolvimento da mineração, a disposição de rejeitos era feita com o lançamento dos rejeitos diretamente nos cursos d'água, provocando reflexos no meio ambiente até que os conflitos gerados com fazendeiros vizinhos aos cursos d'água resultaram em regulamentação obrigando as mineradoras a disporem seus rejeitos utilizando métodos adequados.

Ao longo do tempo, a construção de barragens como solução tecnológica tem resolvido o problema da disposição dos rejeitos. Entretanto, o aumento da escala das atividades de mineração, resultando em barragens cada vez maiores e com reservatórios mais volumosos, aumentou também o risco de acidentes de barragens com consequências ainda mais catastróficas. Daí, a identificação de aspectos de segurança indicando que a água contida nos rejeitos como sendo um fator de risco a ser eliminado para maior segurança das estruturas de contenção dos rejeitos. Desta forma, novos métodos, utilizando novas tecnologias de disposição foram desenvolvidos, melhorando

o balanço hídrico da disposição dos rejeitos, e resultando em maior volume de água a ser aproveitadas no balanço hídrico das atividades de mineração.

Estes novos métodos estão descritos a seguir.

3.3.2 Alternativas de disposição de rejeito

Em linhas gerais, a escolha de um método eficaz para a disposição de rejeitos encontra-se diretamente relacionada às características do beneficiamento mineral, às condições geológicas e morfológicas regionais, aos parâmetros de resistência dos materiais e à classificação química, com o intuito de observar os potenciais impactos ambientais.

Considerando os aspectos intrínsecos do rejeito, as técnicas de desaguamento (espesado, em pasta e filtrado) ganharam destaque por proporcionarem a redução do volume de água. Estas técnicas viabilizam a obtenção de estruturas de disposição mais seguras e, a depender do método, conseguem auxiliar no suprimento de água para o processo mineral.

Os rejeitos desaguados são categorizados pelo teor de sólido e a tensão de escoamento (Figura 64). A depender dessas características, diferentes formas de disposição podem ser indicadas como alternativa às barragens de rejeitos convencionais.

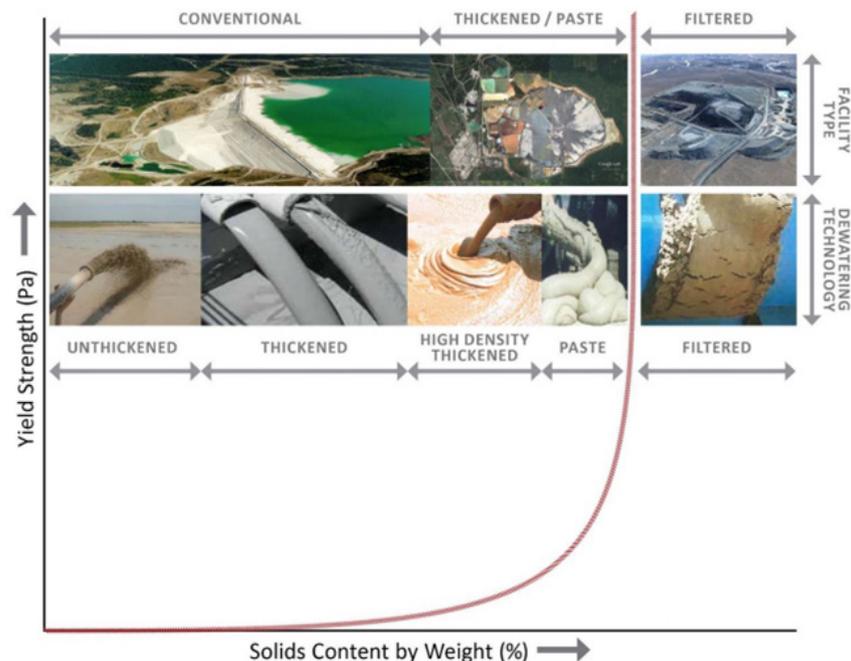


Figura 64: Diferentes tipos de rejeitos, seus aspectos e tipos de depósito (MEND, 2017).

Importante destacar que, apesar das vantagens da execução do desaguamento, os custos associados podem ser elevados, devendo-se observar também, o rigor técnico-operacional para a manutenção das estruturas construídas com utilização desses materiais. Caso contrário, recai-se sobre os mesmos problemas mencionados anteriormente acerca da disposição convencional.

Dentre os métodos mais simples e de menor custo para a disposição do rejeito pode-se considerar a secagem. De uma forma geral, esta alternativa é indicada para resíduo com característica de lama, como por exemplo aquela proveniente do beneficiamento da bauxita. Esta metodologia consiste em ciclos de lançamento em finas camadas; com intervalos para adensamento e ressecamento (Figura 65), antes do relançamento da camada seguinte.



Figura 65: Método de Secagem para disposição de rejeitos finos. Fonte: YouTube, 2021.

A secagem do rejeito, no entanto, exige a disponibilidade de grandes extensões de áreas, a fim de garantir os ciclos inerentes ao processo. Além disso, parte da água é perdida em função do ressecamento do rejeito, sendo essas as principais desvantagens.

Outra solução trata-se do empilhamento drenado. Neste método o material é depositado em formato de pilha (Figura 66), considerando um sistema

de drenagem interna e de fundo, que recolhe o fluxo percolado. Importante destacar que este método é eficaz para materiais granulares, já que é necessária a garantia de permeabilidade para viabilizar a drenagem.

De acordo com Pimenta (2011), este método possui como principais características a obtenção de um maciço não saturado e estável; menor potencial de dano em uma eventual ruptura; e maior facilidade para as etapas de fechamento e pós-fechamento.



Figura 66: Empilhamento drenado. Fonte: IBRAM, 2016.

Por fim, o empilhamento de rejeito filtrado (Figura 67), que consiste em alternativa eficiente de disposição em termos de remoção de água e consequente aumento do teor de sólidos. O emprego de equipamentos como filtro a disco ou prensa viabilizam o reaproveitamento de cerca de 90% da água (Alves, 2020).

Neste método, os rejeitos são espessados até atingir determinada consistência, e em seguida passam pelo processo de filtragem. A água decorrente dessas atividades é então reaproveitada no processo (Oliveira-Filho e Abrão, 2015). Outra vantagem associada a este método é a maior facilidade no manuseio do rejeito, viabilizando o transporte, lançamento e compactação; e melhores condições para a etapa de reabilitação ambiental.



Figura 67: Empilhamento filtrado. Fonte: Hydro, 2023.

Apesar do empilhamento do material filtrado oferecer muitas vantagens, principalmente no âmbito da sustentabilidade e segurança das estruturas de disposição, o estabelecimento de uma planta de filtragem envolve alto custo de instalação e operação.

■ 3.3.3 Conclusão

Este capítulo se destinou a apresentar os principais aspectos envolvendo a disposição de rejeitos, as lições aprendidas considerando a utilização das barragens convencionais, e as alternativas de disposição que vem sendo praticadas, considerando as boas práticas de engenharia, visando a sustentabilidade do setor.

Muitos são os desafios que permeiam essa temática, haja vista que os acidentes compreendendo ruptura de barragens imprimiram foco sobre os riscos associados, incluindo a pressão da sociedade para uma mineração mais segura.

No entanto, as iniciativas de investimento em novas alternativas de disposição de rejeitos, o maior rigor técnico e operacional, e a consolidação de guias desenvolvidos por instituições reconhecidas, normas e legislações aplicáveis às gestões de risco, segurança e emergência de barragens, têm promovido melhoria contínua nos processos e consequentemente aumento da credibilidade, indo ao encontro dos anseios da sociedade.

3.4 Segurança de barragens de rejeitos: regulamentação e ação

- Luiz Paniago Neves⁶⁸
- Eliezer Senna Gonçalves Júnior⁶⁹
- Kalyl Gomes Calixto⁷⁰
- Yara Barbosa Franco⁷¹

3.4.1 Introdução e Conceitos Básicos

A inserção legal do Brasil na temática de Segurança de Barragens se deu com a promulgação da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010⁷², por meio da qual os diversos órgãos fiscalizadores se engajaram no tema para regulamentar e colocar em prática as diretrizes da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Quanto a barragens de rejeitos de mineração, diversas empresas de mineração já adotavam boas práticas de segurança em seu cotidiano, todavia adequações se fizeram necessárias com o advento da referida Lei. Outras empresas de mineração que, por sua vez, não vinham implementando os preceitos do tema, tiveram que se adequar, seguindo o exposto na legislação vigente.

Dentro do conceito de “barragens de mineração” estão incluídas barragens de contenção de rejeitos, barragens de contenção de sedimentos e estruturas construídas por meio de disposição hidráulica de rejeitos. De forma geral, são estruturas que, sendo previstas no plano de aproveitamento econômico da jazida, e, passando pelo processo de licenciamento ambiental, são implantadas próximas às áreas de lavra e beneficiamento de minérios, tendo como função principal a contenção de materiais – tipicamente rejeitos ou sedimentos.

68 Geólogo e Mestre em Geologia. Superintendente de Segurança de Barragens de Mineração (ANM). Email: Luiz.Paniago@anm.gov.br

69 Geólogo e Mestre em Geociências. Coordenador de Gerenciamento de Riscos Geotécnicos em Barragens de Mineração (ANM). Email: Eliezer.Junior@anm.gov.br

70 Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Especialista em Recursos Minerais (ANM). Email: Kalyl.Calixto@anm.gov.br

71 Engenheira Civil, Mestre em Geotecnia. Especialista em Recursos Minerais (ANM). Email: yara.franco@anm.gov.br

72 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, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da [Lei nº 9433](#), de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da [Lei nº 9984](#), de 17 de julho de 2000.

Quanto ao eixo de implantação, destaca-se que, diferentemente de barragens convencionais de acumulação de água, barragens de rejeitos são usualmente construídas fora de cursos de água perenes ou em seções com pequenas áreas de drenagem.

O termo rejeito se refere à combinação de materiais que sobram do beneficiamento do minério, particularmente um fluido (água) misturado a partículas sólidas com propriedades diversas, que dependem do processo de beneficiamento, das características do material da jazida e do processo de disposição. Em alguns casos, parte do próprio rejeito, ao atender a critérios técnicos e passar por processos de separação física, é o material usado na construção dos diques de contenção.

Os sedimentos, por outro lado, são gerados a partir da ação do escoamento de águas nas estruturas de mineração, como pilhas de estéril (material em que o minério de interesse não está presente em teor suficiente para aproveitamento econômico), que, se não contidos, podem causar relevantes impactos nos cursos de água a jusante.

Além do papel de contenção de rejeitos, barragens de mineração desempenham funções nos processos produtivos e na mitigação de impactos ambientais, viabilizando, por exemplo, a redução no consumo de água (pela recirculação de água), o controle de poeira (pelo bombeamento/aspersão de água armazenada e pela formação de espelho de água no rejeito), o controle de cheias (amortecimento de vazões afluentes), e a redução da descarga de sedimentos nas áreas a jusante.

Outra particularidade das barragens de mineração se refere à usual simultaneidade das etapas de construção e operação, ou seja, as estruturas são alteadas ao longo de suas vidas úteis, trazendo maior complexidade nos processos de gestão de riscos e de mudanças.

O enquadramento de barragens de mineração nos termos da Política Nacional de Segurança de Barragens é feito de acordo com critérios de altura, volume, material armazenado e classificação da estrutura em termos de dano potencial associado (DPA) e categoria de risco (CRI). A classificação, um dos instrumentos da PNSB, está regulamentada em normativo próprio da Agência Nacional de Mineração, a partir das diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – Resolução CNRH n. 143/2012.

Enquanto a classificação de categoria de risco aborda critérios relacionados a características técnicas, estado de conservação e documentação do plano de segurança, a classificação quanto ao dano potencial associado indica a avaliação das consequências de eventual falha da barragem em

termos de perda de vidas humanas e danos ambientais, sociais e econômicos. Essa avaliação da consequência tem sido desenvolvida a partir de estudos de ruptura hipotética e da elaboração de mapas de inundação, a fim de se delimitar as áreas potencialmente afetadas.

Esses estudos são fundamentais também para preparar os planos de ação de emergência (de responsabilidade dos operadores de barragens) e os planos de contingência municipais (de responsabilidade dos órgãos de proteção e defesa civil), que visam orientar a população nas ações preventivas e emergenciais.

Globalmente, iniciativas têm sido tomadas para garantir a segurança de barragens de mineração, incluindo a formulação de boas práticas de gestão e governança corporativa, com foco em eliminar falhas catastróficas e perdas de vidas humanas. Guias, padrões e certificações em segurança de barragens surgem, complementarmente aos aspectos legais e regulatórios, como resposta da indústria da mineração, abordando de forma ampla questões técnicas e gerenciais relevantes ao longo do ciclo de vida das estruturas, desde as fases de concepção e projeto, passando pela implantação, operação, encerramento e pós-encerramento.

Nesse cenário, o presente capítulo pretende apresentar um panorama da evolução das normas e das ações sobre segurança de barragens de mineração no Brasil, frente às demandas do setor mineral e da sociedade, e considerando o histórico de desastres ocasionados por rupturas de barragens de grande porte nos últimos anos.

■ 3.4.2 Aspectos Legais: PNSB e sua regulamentação no setor mineral

Com a promulgação da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, a Agência Nacional de Mineração (ANM) prontamente iniciou as tratativas para regulamentar a Política Nacional de Segurança de Barragens no âmbito de barragens de mineração, partindo desde a Portaria do Diretor Geral do DNPM nº 416 e suas retificações, em setembro de 2012, até a atualmente vigente Resolução ANM nº 95/2022.

A Figura 68 sintetiza a evolução da legislação no Brasil sobre segurança de barragens de mineração.

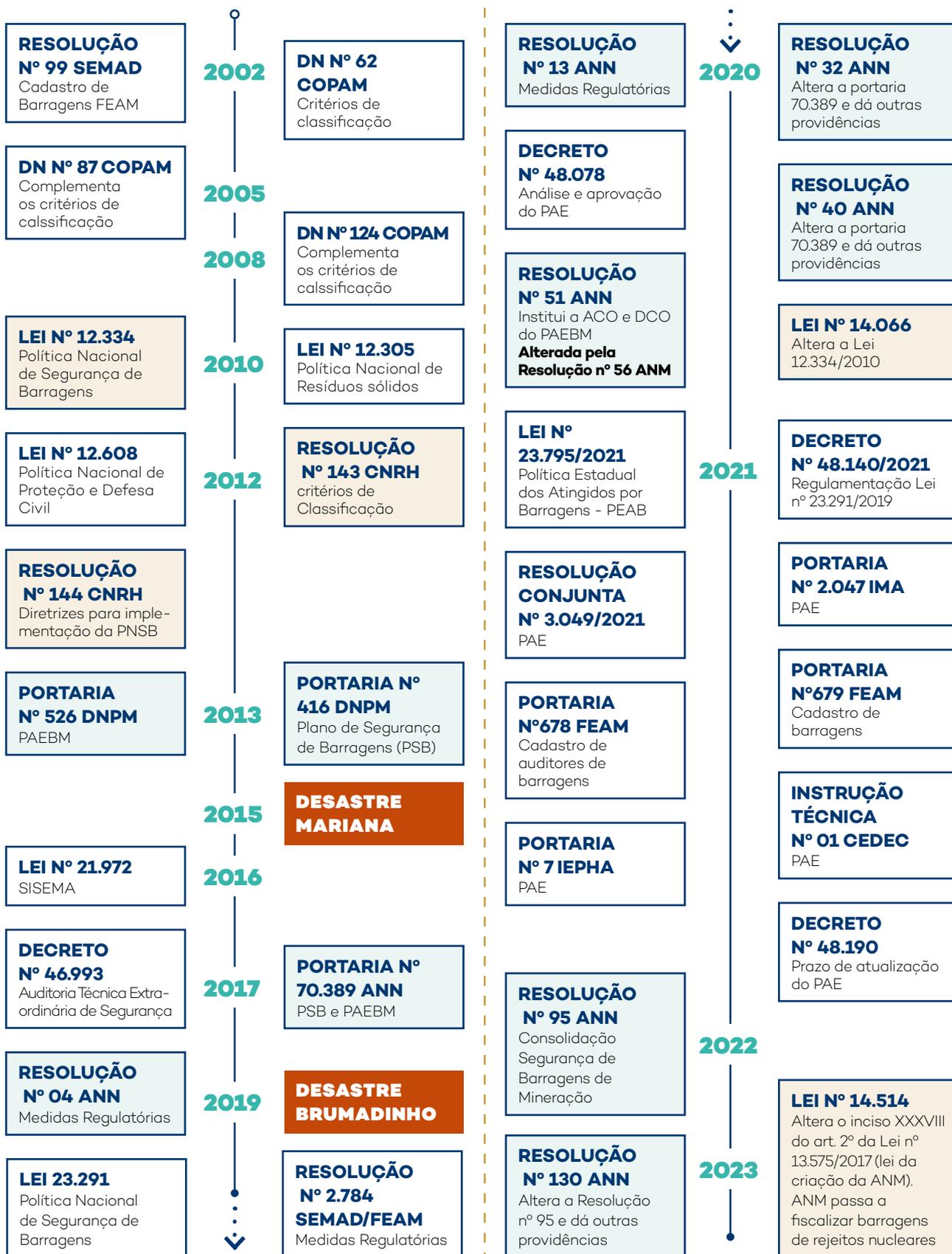


Figura 68: Evolução das normas sobre segurança de barragens de mineração no Brasil.

A seguir são destacados dispositivos legais e infralegais relevantes, que trouxeram avanços na regulamentação do setor.

1. Lei nº 12.334/2010

A Lei nº 12.334, publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 20 de setembro de 2010, foi um marco para a regulamentação de segurança de barragens no Brasil, estabelecendo a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas a barragens de acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. A Lei estabelece ainda a criação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), para registro informatizado das condições de segurança de barragens em todo o território nacional, atribuindo a competência para sua organização, implantação e gestão à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

A implementação e o alcance dos objetivos da Lei nº 12.334/2010, com destaque aqueles voltados para o fomento à cultura de segurança de barragens e gestão de riscos e a elaboração do Plano de Ação de Emergência (PAE), se baseia no uso de diversos instrumentos estabelecidos na Lei, como o sistema de classificação de barragens por categoria de risco (CRI) e dano potencial associado (DPA), o Plano de Segurança da Barragem (PSB), incluindo o PAE, o SNISB, o Relatório de Segurança de Barragens (RSB), elaborado anualmente pela ANA, dentre outros. Tais instrumentos são meios para que as diretrizes estabelecidas na PNSB sejam traduzidas em ações práticas e tangíveis que fomentem uma cultura de gestão de segurança de barragens no Brasil.

A Lei nº 12.334/2010 estabelece as informações mínimas a serem incorporadas ao PSB, deixando a cargo dos órgãos fiscalizadores competentes a definição da periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento. Dentre os itens mínimos obrigatórios pode-se citar os manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem, o PAE, relatórios das inspeções de segurança e as revisões periódicas de segurança.

São estabelecidas ainda as competências de fiscalização de barragens, cabendo à Agência Nacional de Mineração (ANM) a fiscalização de barragens de mineração. Tal competência foi estendida em 2022 por meio da Lei nº 14.514, de 29 de dezembro de 2022 que altera o inciso XXXVIII do art. 2º da Lei nº 13.575/2017 para abranger ainda a fiscalização de barragens de rejeitos de minérios nucleares.

Verifica-se, portanto, a importância da Lei nº 12.334/2010 no âmbito da promoção da segurança de barragens, proteção ambiental e responsabilidade dos empreendedores.

2. Portaria nº 416/2012 DNPM, e Portaria nº 526/2013 DNPM

Tendo em vista a atribuição para fiscalização de barragens de mineração dada à ANM pela Lei nº 12.334/2010, a Portaria do Diretor Geral do DNPM nº 416, de 03 de setembro de 2012 e suas retificações, assim como a Portaria DNPM nº 526, de 09 de dezembro de 2013, foram publicadas regulamentando a temática no que se refere às barragens de mineração. Foram abordados temas relativos ao Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (CNBM), a classificação em DPA e CRI das barragens de mineração, à periodicidade e ao conteúdo mínimo do Plano de Segurança de Barragens de Mineração (PSB), que engloba as Revisões Periódicas de Segurança de Barragens de Mineração (RPSB), assim como as Inspeções de Segurança Regulares (ISR) e Especiais de Barragens de Mineração (ISE), e os Planos de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração (PAEBM).

A Portaria nº 416 estabeleceu o sistema do Relatório Anual de Lavra - RAL, já existente no então Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), para efetivação do cadastro de todas as barragens de mineração por parte dos empreendedores (estruturas em construção, em operação e desativadas), não havendo naquele momento um sistema dedicado, no órgão regulador, para o gerenciamento das informações de cadastro das barragens de mineração no Brasil. O cadastro era, portanto, atualizado anualmente, conforme o prazo fixado para entrega do RAL (Relatório Anual de Lavra) do respectivo ano-base, pelas regulamentações do DNPM.

A Portaria DNPM nº 526, de 09 de dezembro de 2013 estabelece os critérios para elaboração do PAEBM, volume obrigatório somente para barragens com DPA alto, à época.

3. Portaria DNPM nº 70.389/2017, alterada pelas resoluções ANM nº 32/2020 e nº 40/2020

Em maio de 2017 foi publicada a Portaria do Diretor Geral do DNPM nº 70.389 e respectivas retificações, que revogaram as portarias anteriormente em vigor e unificaram a normatização relativa às barragens de mineração. A Portaria DNPM nº 70.389/2017 visou atender o disposto nos artigos 8º, 9º, 10º, 11 e 12 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, e foi construída contando com mecanismos de participação social, compreendendo consulta pública, reuniões com entes envolvidos, dentre outras ações, com o fim de dar a maior publicidade possível e acessibilidade ao texto em elaboração.

A referida Portaria criou o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (CNBM) e o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), e dispôs sobre a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem (PSB) e os itens constantes, inclusive o Plano de Ações de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM), quando necessário.

O Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), criado por ocasião da Portaria DNPM nº 70.389 /2017, mostrou-se como um sistema inovador para auxílio na gestão remota de barragens de mineração no Brasil, sendo único no país e no mundo. O sistema integra as informações de características técnicas, localização geoespacial, de inspeções de segurança regular e especiais, histórico de incidentes e acidentes e demais informações de segurança de todas as barragens de mineração no Brasil, orientando uma rápida tomada de decisão por parte da ANM em casos necessários.

Com a publicação da Portaria DNPM nº 70.389/2017, as normas para barragens de mineração evoluíram significativamente, trazendo alterações de prazos e novas obrigações. Novas resoluções foram publicadas pela ANM no decorrer de 2020, visando um processo contínuo de aprimoramento normativo, mitigação de riscos e incremento da segurança de barragens de mineração no Brasil. As resoluções ANM nº 32, de 11 de maio de 2020 e ANM nº 40, de 6 de julho de 2020, que alteraram a Portaria DNPM nº 70.389/2017, estabeleceram requisitos mínimos para os estudos de ruptura hipotética e elaboração de mapas de inundação, sistema de monitoramento e alerta, dentre outros.

O Quadro 2 sintetiza algumas das inovações legislativas advindas da Portaria DNPM nº 70.389/2017 e as Resoluções da ANM que se seguiram para sua alteração.

Quadro 2: Alteração na regulamentação de segurança de barragens de mineração advindas da publicação da Portaria DNPM nº 70.389/2017

Alteração na regulamentação de segurança de barragens de mineração	Seção correspondente na Portaria DNPM nº 70.389/2017
Apresentação quinzenal do Extrato de Inspeção Regular (EIR) no SIGBM , em substituição ao formato anual;	Art. 20
Maior rigor na elaboração dos Relatórios de Inspeção de Segurança Regular (RISR) que geram as Declarações de Condição de Estabilidade (DCE);	Art. 21 Anexo II
Emissão semestral da DCE via SIGBM , assinada pelo responsável técnico e pelo empreendedor , em vez da apresentação anual nos processos minerários via RAL;	Art. 16
Emissão diária dos Extratos de Inspeção Especial (EIE) em casos de anomalias relevantes, ao invés da periodicidade semanal estabelecido no normativo anterior;	Art. 24
Ampliação da obrigação de possuir Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) para barragens com DPA Médio– quando o item “existência de população a jusante” atingir 10 pontos ou o item “impacto ambiental” atingir 10 pontos ;	Art. 9º, § 2º
Obrigatoriedade do uso de sirenes para alerta eficaz da população na Zona de Autossalvamento (ZAS) em situações de emergência;	Art. 34, inciso XXIII
Intensificação dos treinamentos internos sobre o PAEBM , que passaram a ser obrigatoriamente realizados duas vezes ao ano ;	Art. 34, inciso III
Implementação da obrigatoriedade de elaborar o Relatório de Causas e Consequências do Evento em Emergência Nível 3 pelo empreendedor, em casos de acidentes;	Art. 34, inciso XI Art. 40

Alteração na regulamentação de segurança de barragens de mineração	Seção correspondente na Portaria DNPM nº 70.389/2017
Cumprimento obrigatório, pelo empreendedor, das determinações contidas nos ISR, ISE e RPSB no prazo especificado , sob pena de interdição nos casos de recomendações visando à garantia da estabilidade estrutural da barragem de mineração;	Art. 52
Aprimoramento na classificação das barragens quanto às características técnicas com a inclusão de itens como auscultação e método construtivo ;	Anexo V - Quadro 2
Instituição da obrigatoriedade de instalação de sistemas de monitoramento das estruturas. Alteração Resolução ANM nº 40/2020: sistema automatizado de instrumentação com acompanhamento em tempo real e período integral (barragens de mineração classificadas com DPA alto, existência de população a jusante com pontuação 10 e características técnicas com método construtivo contendo pontuação 10)	Art. 7º
Expansão da obrigatoriedade de elaboração de mapa de inundação para todas as barragens de mineração. Alteração Resolução ANM nº 32/2020: Maior rigor na elaboração, com modelos minimamente 2D e consideração de 100% do volume para modo de falha por liquefação.	Art. 6º

4. Resolução ANM nº 51/2020, alterada pela Resolução ANM nº 56/2021

A Resolução ANM nº 51, de 24 de dezembro de 2020, criou e estabeleceu critérios para a Avaliação de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM (ACO), tendo sido alterada pela Resolução ANM nº 56, de 28 de janeiro de 2021, que ampliou o prazo de entrada em vigor da Resolução nº 51/2020 e define de forma clara a responsabilidade técnica pela elaboração do Relatório de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM (RCO), da declaração de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM (DCO), do PAEBM e do estudo de ruptura hipotética vigente da barragem.

5. Resolução ANM nº 13/2019

Em 26/12/2017, foi promulgada a Lei nº 13.575, que criou a Agência Nacional de Mineração (ANM) e extinguiu o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). O art. 15 desta lei forneceu as bases para que a Agência que se instituiu passasse a aplicar os mecanismos de participação social e transparência na edição e alteração de atos normativos, preferencialmente por meio de Análise de Impacto Regulatório (AIR). Posteriormente, as Leis nº 13.848 e 13.874, ambas de 2019 e o Decreto 10.411/2020, ratificaram e detalharam o processo de implementação da AIR no âmbito das Agências Reguladoras.

Neste sentido, a Resolução ANM nº 13/2019, uma das primeiras normas editadas pela ANM após sua criação, foi pioneira na utilização de mecanismos de participação social no âmbito da Agência, pois, apesar de não ter realizado o processo completo de AIR para sua elaboração, uma vez que possuía caráter urgente, pois dispõe sobre medidas sensíveis para a segurança de barragens de mineração, foi construída por meio de sólidas discussões com stakeholders diversos, que puderam se manifestar e propor ideias por meio de consulta pública amplamente divulgada, contando com 286 contribuições, conforme o Relatório de Avaliação de Contribuições (Consulta Pública nº 001/2019), e audiência pública com a participação de representantes dos mais diversos setores envolvidos com o tema segurança de barragens.

Assim, a Resolução ANM nº 13, de 8 de agosto de 2019, entrou em vigor em substituição à Resolução nº ANM 4/2019, elaborada em caráter emergencial, logo após o desastre em Brumadinho, atualizando, assim, as medidas regulatórias e modificando diversos pontos de sua antecessora, em conformidade com o processo de consulta pública nela prevista, com objetivo de garantir maior segurança para à estabilidade de barragens de mineração, notadamente as construídas ou alteadas pelo método “a montante” ou declarado como “desconhecido”.

Foram, então, estabelecidas medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração. Essa resolução proibiu a construção de barragens alteadas a montante e, ainda, estabeleceu prazos diferenciados para a sua descaracterização, em função do volume acumulado. Também dispôs sobre o uso e ocupação do solo a jusante das barragens da mineração, na porção inserida em poligonais de direitos minerários, além de estabelecer normas sobre os valores mínimos requeridos para o cálculo dos fatores de segurança na condição não drenada, acerca da automação da instrumentação e de alertas sonoros, entre outras medidas.

Com o rompimento da Barragem I, da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, a ANM emitiu um comunicado oficial, juntamente a notificações para todos os

empreendimentos responsáveis por barragens de rejeitos, com a determinação de que fossem prestadas informações atualizadas sobre as condições das estruturas das barragens de mineração, a execução ou atualização do PAEBM, e também sobre medidas para prevenção e controle de risco e de dano potencial associado, medidas tomadas especialmente em relação a barragens com metodologia “a montante”, definida na Resolução nº 13 como segue:

Parágrafo único. Para fins desta Resolução, entende-se por:

I - Método “a montante”: a metodologia construtiva de barragens onde os maciços de alteamento se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento previamente lançado e depositado, estando também enquadrados nessa categoria os maciços formados sobre rejeitos de reservatórios já implantados.

Ao fim do ano de 2019, se contabilizava no país a existência de 243 barragens de mineração classificadas com o DPA Alto. Dessas, 49 estruturas eram cadastradas como construídas ou alteadas pelo método de montante, sendo mais de 70% localizadas em Minas Gerais, ao passo que o restante se distribuía, de forma mais pulverizada, nos Estados da Bahia, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul e São Paulo. Atualmente (setembro de 2023), após as revisões cadastrais e reavaliações de documentação de algumas estruturas, verifica-se a existência de 43 barragens que utilizam a técnica de alteamento por montante classificadas como DPA Alto, todas desativadas (não recebem mais rejeitos) e em diferentes fases do processo de descaracterização.

Algumas das principais alterações de aprimoramento sugeridas pelo Grupo de Trabalho (GT) que elaborou a Resolução nº 13 estão indicadas no Quadro 3.

Quadro 3: Alteração na regulamentação de segurança de barragens de mineração advindas da publicação da Resolução ANM nº 13/2019

Alteração na regulamentação de segurança de barragens de mineração	Seção correspondente na Resolução ANM nº 13/2019
A proibição da utilização do método de construção ou alteamento de barragens de mineração denominado “a montante” ou método “desconhecido” ;	Art. 2º
A responsabilização dos empreendedores pelas barragens de mineração, que também passaram a ser proibidos de ter quaisquer tipos de instalações e barragens na ZAS ;	Art. 3º

Alteração na regulamentação de segurança de barragens de mineração

Seção correspondente na Resolução ANM nº 13/2019

O estabelecimento da implantação do **monitoramento automatizado** com acompanhamento em **tempo real** e **período integral** pelos empreendedores, para barragens de mineração com **DPA Alto** que não se enquadravam no Art. 7º da Portaria nº 70.389/2017;

Art. 6º

O estabelecimento da obrigatoriedade de instalação de **sistemas automatizados de acionamento de sirenes**, além dos manuais já existentes, fora da mancha de inundação para barragens com **DPA alto**;

Art. 7º

A fixação de **novos prazos** em relação aos estabelecidos na resolução anterior (Res. ANM 04/2019), como a **prorrogação da data limite para descaracterização das barragens “a montante”**, para que as empresas tivessem tempo hábil para cumprir a função com o rigor técnico e a segurança necessária;

Art. 8º

A determinação de que a **pessoa de maior autoridade** na governança da companhia passasse a assinar a DCE, bem como o responsável técnico por sua elaboração, passando a envolver diferentes níveis da governança das empresas de mineração nas questões relacionadas à segurança de barragens (altera o parágrafo único do art. 22 da Portaria DNPM nº 70.389/2017);

Art. 15

A determinação de que **empilhamentos drenados** construídos por meio de **disposição hidráulica** dos rejeitos (**suscetíveis a liquefação**), passavam a estar sujeitos às **mesmas obrigações das barragens de mineração a montante**;

Art. 12

A exigência de realização de **estudos sísmicos** das barragens de mineração, tendo por base a norma da ABNT NBR 13.028 (altera o Anexo II – Volume III da Portaria DNPM nº 70.389/2017).

Art. 15

6. Lei nº 14.066/2020

Após uma década da implementação da Lei Federal nº 12.334/2010, em 1º de outubro de 2020, foi promulgada a Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, marcando uma revisão significativa na legislação anterior e introduzindo inovações substanciais.

A referida lei, ao alterar a redação original do texto publicado em 2010, trouxe modificações importantes em vários conceitos antes estabelecidos, tais como barragem, empreendedor e dano potencial associado. Além disso, foram adicionadas novas definições à legislação federal, como categoria de risco, zona de autossalvamento, zona de segurança secundária, mapa de inundação, acidente, incidente, desastre e barragem descaracterizada.

Para estar sujeita à PNSB, ou seja, para atender plenamente à Lei nº 12.334/2010, uma barragem deve possuir pelo menos uma das características especificadas na lei federal, relacionadas à altura, capacidade do reservatório, classificação dos resíduos, DPA e CRI, a critério do órgão fiscalizador. Vale ressaltar que houve alterações no parâmetro de mensuração da altura da barragem com a promulgação da Lei nº 14.066/2020, agora medida do encontro do pé do talude de jusante até a crista, e a inclusão de uma nova característica: a categoria de risco alta, a critério do órgão fiscalizador.

Outra inovação trazida pela Lei nº 14.066/2020, que alterou a Lei nº 12.334/2010, foi a designação de um órgão fiscalizador para os rejeitos de minérios nucleares. Essa atribuição inicialmente foi conferida à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Contudo, como mencionado anteriormente, essa competência foi transferida para a Agência Nacional de Mineração (ANM) em 2022, por meio da Lei nº 14.514, de 29 de dezembro de 2022, que alterou o inciso XXXVIII do art. 2º da Lei nº 13.575/2017 (lei de criação da ANM).

A obrigatoriedade de elaboração do PAEBM passou a ser estendida para todas as barragens de mineração, e foi proibida a construção ou alteamento de barragens de mineração pelo método a montante. Em caso de barragens já construídas ou alteadas por este método, foi previsto que o empreendedor deveria descaracterizar as estruturas até 25/02/2022, podendo esse prazo ser prorrogado pela ANM, caso houvesse justificativa técnica indicando sua inviabilidade e que tal decisão fosse referendada pela autoridade licenciadora do SISNAMA. Destaca-se que esse prazo é substancialmente mais restritivo do que o estabelecido pela Resolução ANM nº 13/2019, que propunha um escalonamento dos prazos para setembro de 2022, setembro de 2025 e setembro de 2027, com base nos volumes armazenados nos reservatórios das estruturas construídas por montante.

Visando assegurar a segurança das comunidades localizadas a jusante de barragens de mineração, a lei estabelece a proibição de implantar novas barragens em áreas onde um estudo de ruptura hipotético indica a presença de comunidades na Zona de Autossalvamento (ZAS), não sendo definido, contudo, o conceito de comunidade na citada lei. Para barragens já existentes, em instalação ou em operação, à época da publicação da Lei nº 14.066/2020, ficou estabelecido a obrigatoriedade de adoção de uma de três soluções: descaracterização da estrutura, ou o reassentamento da população e o resgate do patrimônio cultural, ou obras de reforço que garantissem a estabilidade efetiva da estrutura. A solução final, conforme estabelecido na lei, foi atribuída ao “poder público, ouvido o empreendedor e consideradas a anterioridade da barragem em relação à ocupação e a viabilidade técnico-financeira das alternativas”.

De forma semelhante, com o objetivo de assegurar a proteção dos trabalhadores, a Lei nº 14.066/2020 restringiu a autorização para a presença de trabalhadores na Zona de Autossalvamento (ZAS) apenas àqueles “estritamente necessários para a execução das atividades de operação e manutenção da barragem ou das estruturas e equipamentos a ela relacionados”.

Verifica-se, portanto, que frente aos últimos acidentes envolvendo barragens de mineração no Brasil a Lei nº 14.066/2020 tornou mais rígida a legislação de segurança de barragens no país, prevendo a possibilidade de exigência pelo órgão fiscalizador da apresentação de garantias financeiras para reparação dos danos à vida humana, ao meio ambiente e ao patrimônio público (barragens com DPA médio ou alto e CRI médio ou alto), além de ampliar o rol de penalidades e o valor das multas aplicáveis em casos de infração.

7. Resolução ANM nº 95, alterada pela Resolução ANM nº 130/2023

Considerando os acidentes de barragem ocorridos desde a implantação da PNSB em 2010, observou-se a necessidade de atualização e implementação de novos dispositivos e regras que aprimorassem a política e trouxessem melhorias para a segurança de barragens no Brasil. Daí o novo marco, Lei nº 14.066/2022, que trouxe à PNSB inovações que demandaram diversos estudos necessários para a segurança das barragens, ou seja, a busca de uma condição que visa manter a sua integridade estrutural e operacional, bem como a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente. Nesse sentido, recaiu sobre os órgãos fiscalizadores a responsabilidade de elaborar regulamentações adicionais para atendimento ao novo dispositivo legal.

No caso da ANM, foi necessário adequar suas normas infralegais à nova realidade e à especificidade exigidas para as barragens de mineração. Para tanto, foi designado um Grupo de Trabalho (GT) envolvendo técnicos especializados em segurança de barragens, com o objetivo de atualizar, examinar e consolidar todas as normas em vigor no que se refere à segurança de barragens de mineração no âmbito da ANM, com vistas a conciliar os normativos infralegais às novas exigências da lei federal, bem como ao que previa o Decreto nº 10.139/2019, que dispõe sobre a revisão e consolidação de atos normativos inferiores a decretos, editados por entidades da administração pública federal direta.

Assim, nos anos de 2020 e 2021, a equipe de Segurança de Barragens de Mineração trabalhou ativamente na CONSOLIDAÇÃO DOS ATOS NORMATIVOS SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO, em cumprimento à Lei nº 12.334 de 2010, à Lei nº 14.066 de 2020, e, em conformidade com a 2ª fase da Agenda Regulatória, pertencente ao Eixo 4 - Tema 1 - Certificação de Barragens, aprovada pela Diretoria Colegiada da ANM. A elaboração do novo normativo envolveu todas as etapas do ciclo regulatório, incluindo a Análise de Impacto Regulatório (AIR), o processo de participação e controle social e a análise de contribuições.

Em decorrência desse trabalho foi publicada, em 07/02/2022, a Resolução ANM nº 95/2022, que tem como objetivo garantir a proteção à vida humana, ao meio ambiente e ao patrimônio de terceiros e dos empreendedores, contra os riscos advindos da operação das barragens associadas à extração mineral. Dessa forma, a nova normativa consolidou os atos normativos que dispõem sobre Segurança de Barragens de Mineração no Brasil, além de promover alterações e maior detalhamento em relação aos dispositivos legais antes vigentes. Essa nova resolução foi o resultado de um diálogo extenso e transparente entre o órgão fiscalizador e os entes interessados no setor de mineração, compreendendo a realização de diversas audiências públicas para discussão e reflexão acerca das condições necessárias para um processo contínuo de mitigação de riscos e incremento da Segurança de Barragens de Mineração.

Como resultado, a regulamentação, elaborada a partir de estudos de referências internacionais, *benchmarkings* executados e melhores práticas da indústria de mineração, manteve-se voltada para o gerenciamento de seguranças de barragens, exigindo que os empreendedores executem as atividades com foco na gestão, no gerenciamento dos riscos, na melhoria contínua e com a responsabilidade de avaliar permanentemente suas atividades, para tomar decisões no sentido de manter o nível de risco de suas operações o mais baixo possível e a estabilidade das estruturas sob sua responsabilidade garantida.

A Resolução ANM nº 95/2022 foi estruturada em 12 capítulos técnicos e 7 anexos, conforme sintetizado na Figura 69.



Figura 69: Estrutura da Resolução ANM nº 95/2022.

Com o novo normativo foram mais bem delimitadas as situações em que as barragens de mineração entram em situação de alerta e de emergência. A Resolução ANM nº 95/2022 define ‘situações de emergência’ como aquelas “decorrentes de eventos adversos que afetem a segurança da barragem e possam causar danos à sua integridade estrutural e operacional, à preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente”. As situações de emergência são ainda subdivididas em 3 níveis, em função do risco para a segurança da estrutura: Nível de Emergência 1 (NE1), Nível de Emergência 2 (NE2) e Nível de Emergência 3 (NE3). Tal classificação, segundo a legislação antes vigente, era de responsabilidade do empreendedor, quando da detecção de alguma situação de emergência. Com a nova Resolução ANM nº 95/2022, contudo, novos critérios foram incorporados, podendo implicar em situação de emergência independente de sua declaração pelo empreendedor.

Os novos critérios da Resolução ANM nº 95/2022 reforçam a importância de se avaliar continuamente a segurança das barragens de mineração, com base em análises de estabilidade atualizadas e representativas da situação atual de cada estrutura, e da implementação efetiva e célere de medidas de correção de anomalias identificadas. Assim, com a nova resolução, o não atendimento a parâmetros de relevância para a segurança de barragens de mineração, como fator de segurança, tempo de retorno mínimo para o dimensionamento do sistema extravasor e borda livre em acordo ao projeto, passaram a ser gatilhos para a entrada em situação de emergência da estrutura, o que não ocorria até então.

A publicação da Resolução ANM nº 95/2022 promoveu benefícios na direção da segurança, com a implementação de importantes alterações, como a avaliação dos planos emergenciais com o RCO (Relatório de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM) e DCO (Declaração de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM), a inclusão do engenheiro de registros (EdR), alterações de obrigações para barragens com comunidade a jusante, o estabelecimento de qualificação mínima para os responsáveis técnicos responsáveis pela emissão de documentos técnicos sobre segurança de barragens de mineração, a necessidade de realização do processo de gestão de risco para barragens de mineração com DPA alto, e de outras várias medidas que trarão incremento de segurança para a sociedade e meio-ambiente.

Ademais, a nova regulamentação trouxe, com base no protocolo do TSM (Towards Sustainable Mining ou 'Rumo à Mineração Sustentável'), a classificação quanto à gestão operacional. Essa classificação inicial da ANM tem o foco na garantia da gestão à vista e visa incentivar os operadores a melhorarem seu nível de classificação e conseqüentemente seu sistema de gestão, sendo uma inovação pensada na regulação responsiva.

Ainda em 2022 a resolução foi objeto de duas retificações e passou por reunião participativa para apresentação de propostas de alteração, sem imposição de obrigações adicionais aos regulados, apenas esclarecimentos de procedimentos técnicos e clareza da redação. A publicação das alterações decorrentes da reunião participativa está registrada na Resolução ANM nº 130/2023, de 24 de fevereiro de 2023, publicada em DOU em 27/02/2023.

■ 3.4.3 Aspectos Institucionais

O histórico recente da Agência Nacional de Mineração revela relevantes avanços no arranjo institucional para assegurar a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) no âmbito de barragens de mineração no país.

Quanto à implementação de sistemas - em 2017, superando o uso compartilhado do Sistema do Relatório Anual de Lavra (RAL Web), houve o lançamento do Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), um sistema dedicado a manter o cadastro e a classificação de barragens de mineração, acompanhar o cumprimento de obrigações normativas e receber informações atualizadas sobre as condições de segurança das estruturas sob a jurisdição da ANM, auxiliando na priorização e otimização das atividades da Superintendência de Segurança de Barragens de Mineração da ANM (SBM), a qual foi posteriormente criada, e garantindo uma atuação mais efetiva, em termos de regulação responsiva no âmbito de todos os processos de trabalho envolvendo atuação fiscalizatória das barragens de mineração.

Dessa forma, o SIGBM possui funcionalidades que contribuem para a qualidade e padronização da ação fiscalizatória, e para a publicização de dados e informações à sociedade, sendo objeto de contínuo aperfeiçoamento, visando acompanhar as mudanças dos normativos vigentes e otimizar os trabalhos da equipe de segurança de barragens. Os manuais do SIGBM de uso externo e interno são atualizados, frequentemente, pela equipe competente da SBM/ANM, com as inclusões das novas funcionalidades do sistema, assim que as alterações são incorporadas. O manual externo pode ser encontrado no sítio eletrônico da ANM (<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens>), enquanto o manual interno é distribuído frequentemente à equipe que utiliza o sistema.

Quanto à evolução da equipe - em dezembro de 2018, a unidade responsável pela fiscalização de barragens era a Gerência de Segurança de Barragens de Mineração (GSBM), vinculada à Superintendência de Produção Mineral (SPM), totalizando, ao final daquele ano, 28 servidores para atuação em todo o território nacional, sendo apenas 13 exclusivos para cuidar do tema. Essa estruturação inicial foi possível com mudanças iniciadas naquele ano, após o desastre em Brumadinho-MG, incluindo a movimentação de servidores ou empregados públicos de outros órgãos, aumentando a força de trabalho.

Em outubro de 2019, com o acordo judicial firmado pela União com o Ministério Público Federal (MPF), foram iniciadas diversas ações para prover a ANM com os recursos necessários para cumprir sua missão institucional referente à segurança de barragens. Uma das primeiras ações foi a contratação de assessoria técnica especializada no tema de segurança de barragens, proporcionando, além de ações de capacitação, a revisão dos procedimentos de fiscalização da ANM e a realização de uma ampla campanha de vistorias nos empreendimentos minerários com barragens classificadas com DPA alto.

Em janeiro de 2021, houve a publicação de edital para contratação temporária de 40 técnicos em segurança de barragens de mineração. Apesar da oferta de 40 vagas, apenas 23 inscritos foram aprovados e 22 foram efetivamente contratados. Ao fim de 2021, a ANM contava com 45 técnicos trabalhando com segurança de barragens, dos quais 38 eram exclusivos.

Passados alguns meses, em agosto de 2022, foi concluído e homologado o resultado de novo concurso público para provimento de 40 cargos de Especialistas em Recursos Minerais (ERM) na ANM para atuar exclusivamente no setor de segurança de barragens. Em 2023, com a posse dos 40 novos servidores e a saída de outros anteriormente movimentados, a equipe de barragens passou a contar com 67 pessoas, sendo 55 servidores ou empregados públicos especialistas com dedicação exclusiva.

Assim, verifica-se que em pouco menos de 4 anos, como resultado principalmente da atuação do MPF, houve um reforço substancial dos quadros de servidores na ANM dedicados à temática de segurança de barragens.

Quanto ao aprimoramento da estrutura – o regimento interno da Agência Nacional de Mineração foi reformulado com a aprovação da Resolução ANM nº 102, de 13 de abril de 2022. Nesta ocasião, um relevante avanço no arranjo institucional se deu com a criação da Superintendência de Segurança de Barragens de Mineração (SBM).

Esta SBM nasceu para responder às atribuições de regulação e fiscalização de segurança de barragens, como, por exemplo: gerenciar a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e normas complementares, no âmbito das competências da ANM, em todo território nacional; propor normas infralegais relacionadas à segurança de barragens sob responsabilidade da ANM e normas para disciplinar as ações de fiscalização da gestão de segurança de barragens de mineração; e supervisionar, orientar e avaliar a execução das ações e atividades de fiscalização da gestão de segurança das barragens de mineração, exercidas pelos agentes e órgãos descentralizados da ANM, para o fiel cumprimento da PNSB, normas complementares e manuais de procedimentos.

Para que a SBM cumpra com seus objetivos institucionais, foram previstas 10 unidades em seu organograma, com competências específicas constantes no regimento interno vigente.

Essas unidades estão subordinadas à SBM conforme sintetizado na Figura 70.

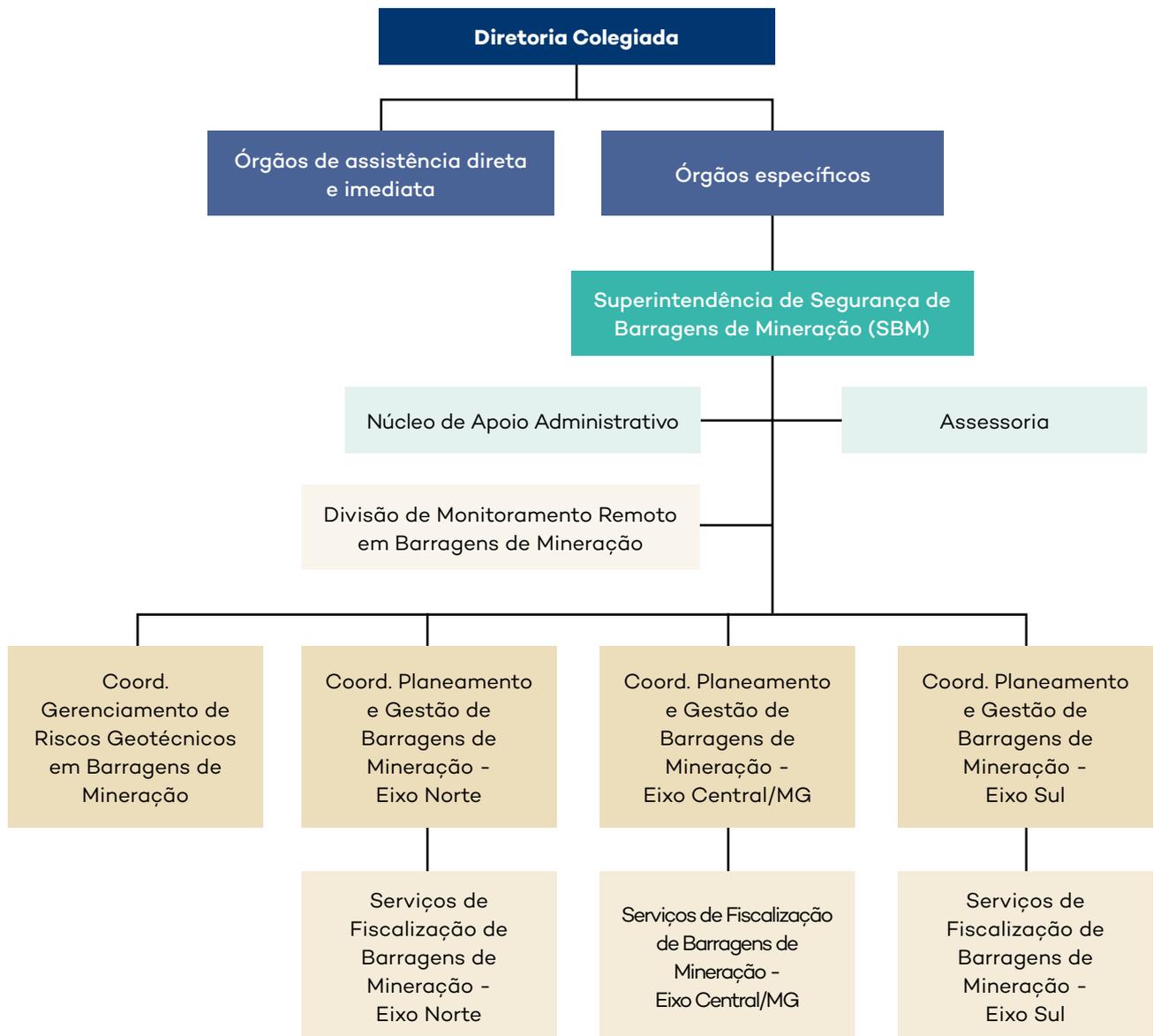


Figura 70: Estrutura organizacional da ANM relacionada à fiscalização de barragens de mineração em 2023.

O termo de acordo judicial movido pelo MPF, além de ter viabilizado a contratação de assessoria técnica, a ampliação do quadro de servidores e a instituição regimental da SBM, possibilitou a aquisição de veículos, equipamentos e materiais básicos necessários para a realização das ações de fiscalização, como uniformes, *tablets* (uso do aplicativo E-Fiscal/SIGBM), computadores portáteis e drones. Ainda, no sentido de promover o fortalecimento institucional da SBM/ANM, e a capacitação de seus servidores, acordos e convênios têm sido assinados com importantes instituições técnicas e de pesquisa ou com outros órgãos de controle ou

fiscalização. O acordo de cooperação técnica (ACT) celebrado em 2020 entre a ANM, a ITAIPU Binacional e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (PTI), por exemplo, tem assegurado, por meio de cursos em temas específicos de geotecnia, hidrologia, inspeção e monitoramento e geofísica, o aprimoramento da capacidade de fiscalização dos técnicos da ANM. De forma similar, o convênio (em fase de renovação) com o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) tem oportunizado a participação regular de servidores da Agência em cursos e eventos técnicos no tema de segurança de barragens. No momento, quase todos os servidores que atuam na área técnica da SBM possuem, concluída, pós-graduação (98%), especialização (36%), mestrado (56%) ou doutorado (7%), evidenciando a qualificação técnica da equipe de fiscais da ANM.

A Plataforma Web Brasil MAIS permite o acesso e o compartilhamento das imagens de satélites diárias adquiridas pela constelação *PlanetScope*, composta por mais de 180 satélites, fornecidas no âmbito do Contrato nº 018/2020, celebrado entre Polícia Federal e a Santiago & Cintra Consultoria – SCCON. O compartilhamento das imagens por meio da Plataforma Web visa contribuir para que o acesso e a utilização dos produtos fornecidos sejam potencializados e compartilhados entre as instituições e milhares de usuários públicos de todo Brasil cadastrados na Plataforma, a partir de termo de adesão ao Programa Brasil M.A.I.S., firmado junto ao Ministério da Justiça e Segurança Pública pelas respectivas instituições públicas, dentre elas a ANM. A ferramenta pode ser utilizada no âmbito de barragens de mineração em apoio às atividades de fiscalização para, por exemplo, averiguar novas estruturas não cadastradas, alteamentos, etc.

Em anos recentes, destaca-se também a participação de servidores da ANM em convênios ou missões internacionais com instituições de referência que atuam na área de segurança de barragens, redução de riscos de desastres, e pesquisa e desenvolvimento de soluções tecnológicas, incluindo a Deltares (Holanda), o *Dutch Risk Reduction Team* (Holanda), a *Mine Safety and Health Administration* – MSHA (Estados Unidos), o *United States Army Corps of Engineers* (Estados Unidos), o *International Council on Mining and Metals* – ICMM (Reino Unido), a *Coal Authority* (Reino Unido), a *University of Liverpool* (Reino Unido), o *Northern Engineering and Technology Corporation* – NETC (China), o *China Geological Survey* – CGS (China) e o *Ministerio de Desarrollo Social y Familia* (Chile). Os encontros, treinamentos e discussões técnicas realizadas no âmbito destes convênios ou missões, ao possibilitar a comparação e constatação de boas práticas, tecnologias, requisitos e normativos, consistem em importantes meios para o aperfeiçoamento da regulação e da fiscalização das barragens de mineração no Brasil. De forma geral, a ANM tem buscado atuar alinhada às boas práticas internacionais, com legislação robusta e sistemas inovadores, para auxílio na atuação presencial e na gestão remota de segurança de barragens.

3.4.4 Panorama de fiscalização de barragens de mineração

Acompanhando a evolução da legislação e o fortalecimento institucional, a Agência Nacional de Mineração tem mantido quantitativos expressivos de ações presenciais de fiscalização em barragens de mineração ao longo dos últimos anos, com média superior a 330 vistorias por ano (Tabela 12). A ação fiscalizatória segue procedimentos definidos em manual interno, regularmente revisado, que busca padronizar e auxiliar os técnicos da ANM em suas atividades na temática de segurança de barragens, contemplando ações relacionadas à inspeção (planejamento e execução) e à preparação dos relatórios de vistoria, tendo como fundamento os dispositivos legais e regulamentares vigentes. Além das ações de fiscalização ordinárias, executadas conforme o planejamento anual, a ANM atende e verifica situações de emergência, denúncias e demandas de órgãos estatais. O universo de barragens sob a jurisdição da ANM, enquadradas na PNSB (~ 457 estruturas) ou não (~ 471 estruturas), com as respectivas localizações, características básicas (alturas, volumes, métodos construtivos, níveis de emergência), classificações quanto a DPA e CRI, e mapas de inundação enviados pelos empreendedores, pode ser consultado por qualquer interessado via SIGBM público.

Tabela 12: Quantidades de ações fiscalizatórias e de estruturas fiscalizadas de 2019 a 2022.

Ano	Ações de fiscalização	Estruturas fiscalizadas
2019	352	277
2020	291	245
2021	351	278
2022	343	303

O planejamento anual de fiscalização é feito compatibilizando as equipes de cada unidade com o número de estruturas sob sua competência. A priorização é feita a partir de características técnicas das estruturas, considerando, por exemplo, a classificação quanto ao dano potencial associado, a classificação quanto ao nível de emergência e o tempo transcorrido desde a última vistoria. Enquanto as coordenações e serviços de fiscalização dos eixos norte, central e sul são responsáveis pelo acompanhamento das estruturas em operação, a coordenação de gerenciamento de riscos geotécnicos acompanha as barragens em construção e em descaracterização. Essa unidade é responsável pela verificação de conformidade dos projetos (critérios normatiza-

dos) e acompanhamento do andamento das obras, visando verificar o atendimento às boas práticas de engenharia e a detecção prévia de potenciais problemas. A metodologia de priorização considera como critério adicional os marcos importantes do projeto, específicos para cada estrutura.

No curso dos procedimentos fiscalizatórios, as unidades técnicas verificam principalmente a gestão de segurança dos empreendedores, isto é, se estão sendo feitos os registros de monitoramento, de anomalias, se os sistemas obrigatórios de implementação obrigatórias estão funcionando, se as medidas de restrição locacional estão sendo cumpridas, se os estudos técnicos vem sendo periodicamente realizados e atualizados, sob a responsabilidade de profissionais habilitados, se a documentação de segurança da estrutura está organizada, completa e disponível para consulta.

Além das ações de fiscalização presenciais, regularmente são realizadas sessões técnicas remotas, por meio das quais a ANM obtém informações relevantes sobre as condições de segurança das estruturas, estejam elas em operação, em construção ou em descaracterização. De forma prévia às inspeções de campo, por exemplo, são conduzidas sessões técnicas de abertura, momento no qual os empreendedores, juntamente a seus consultores ou projetistas, apresentam um conteúdo mínimo de informações sobre o local de implantação da barragem, o histórico de construção e alteamento, a rotina de inspeção e monitoramento, as respostas da instrumentação, os resultados de análises de estabilidade e de verificações hidráulicas, eventuais anomalias e mapas de inundação atualizados. A fiscalização de segurança de barragem vai além da vistoria técnica (inspeção de campo), abrangendo também a análise documental do Plano de Segurança da Barragem (PSB) e a verificação de conformidade com os requisitos normativos.

Eventuais desatualizações, insuficiências ou inadequações, tanto na parte de campo quanto na parte documental, são descritas e evidenciadas nos relatórios de fiscalização, e tratadas por meio de exigências administrativas, com prazos para cumprimento. O acompanhamento e o tratamento são feitos nos respectivos processos minerários nos quais as barragens estão vinculadas. Sanções administrativas, quando aplicáveis, são iniciadas em processos administrativos próprios, conforme determinação legal. Em termos de sistemas, ressalta-se o importante avanço obtido com a implantação do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) em setembro de 2019, momento a partir do qual todos os processos na ANM passaram a tramitar eletronicamente. O SEI, sistema oficial de gestão de processos e documentos eletrônicos, em conjunto com outros sistemas implantados na ANM, tem possibilitado maior celeridade, transparência, economia de recursos e comunicação de eventos em tempo real.

Outra frente dos trabalhos de fiscalização das condições de segurança das barragens de mineração se relaciona às ações urgentes ou emergenciais empreendidas pelas equipes técnicas da ANM. Entre 2019 e 2022 as equipes de barragens da ANM atuaram em pelo menos 14 situações emergenciais, conforme indicado na Tabela 13. Estas ações consistem na realização de inspeções em estruturas com anomalias graves, no acompanhamento dos desdobramentos de incidentes ou acidentes e na supervisão da adoção, pelos empreendedores, de medidas mitigadoras e reparatórias durante ou após a ocorrência de eventos excepcionais nas barragens de sua responsabilidade.

Tabela 13: Presença da ANM em ações emergenciais nos últimos anos.

Ano	Quantidade de ações emergenciais/urgentes
2019	3 ações
2020	5 ações
2021	1 ação
2022	5 ações

As situações de urgência ou emergência são frequentemente relacionadas à presença de anomalias visuais presentes nos componentes das barragens de mineração após eventos excepcionais ou, ainda, podem ser referentes a resultados insatisfatórios em análises e estudos de estabilidade ou de segurança hidrológica-hidráulica das estruturas. Normalmente essas situações são informadas à ANM por meio de denúncias promovidas por membros da sociedade civil e de órgãos estatais ou, eventualmente, são reportados pelos próprios entes regulados, por meio do sistema SIGBM ou do e-mail institucional disponibilizado publicamente. As estruturas classificadas com algum nível de emergência, usualmente com declaração de condição de estabilidade (DCE) negativa, são acompanhadas de forma diferenciada, recebendo mais atenção dos fiscais da ANM, a fim de se verificar a adequada atuação dos empreendedores para retomar condições adequadas de segurança da estrutura. Em alguns casos, as populações das zonas de autossavalmento (ZAS) são evacuadas preventivamente, após atuação e decisão conjunta com órgãos de proteção e defesa civil.

As atuações presenciais em campo são fundamentais para a obtenção de evidências e informações qualificadas sobre as reais condições de segurança das estruturas e as práticas de gestão de riscos dos empreendedores. Em complemento à inspeção visual convencional e aos registros fotográficos do barramento e estruturas anexas ou associadas, a equipe

da ANM tem usado drones equipados com câmera termal para auxiliar na compreensão da estrutura (e.g., dimensões, pontos de lançamento de rejeitos, estruturas de descarga), na identificação de eventuais anomalias e para acessar e verificar áreas com restrições de acesso (Figura 71). De forma geral, tem-se verificado importantes ganhos na qualidade da fiscalização, com a possibilidade de se gerar ortofotos atualizadas a partir dos levantamentos realizados durante as vistorias. De forma complementar aos produtos de satélite, essa prática possibilitará a comparação das intervenções executadas nas barragens e nas áreas de seu entorno e o cumprimento a eventuais sanções de embargo ou suspensão de atividades.

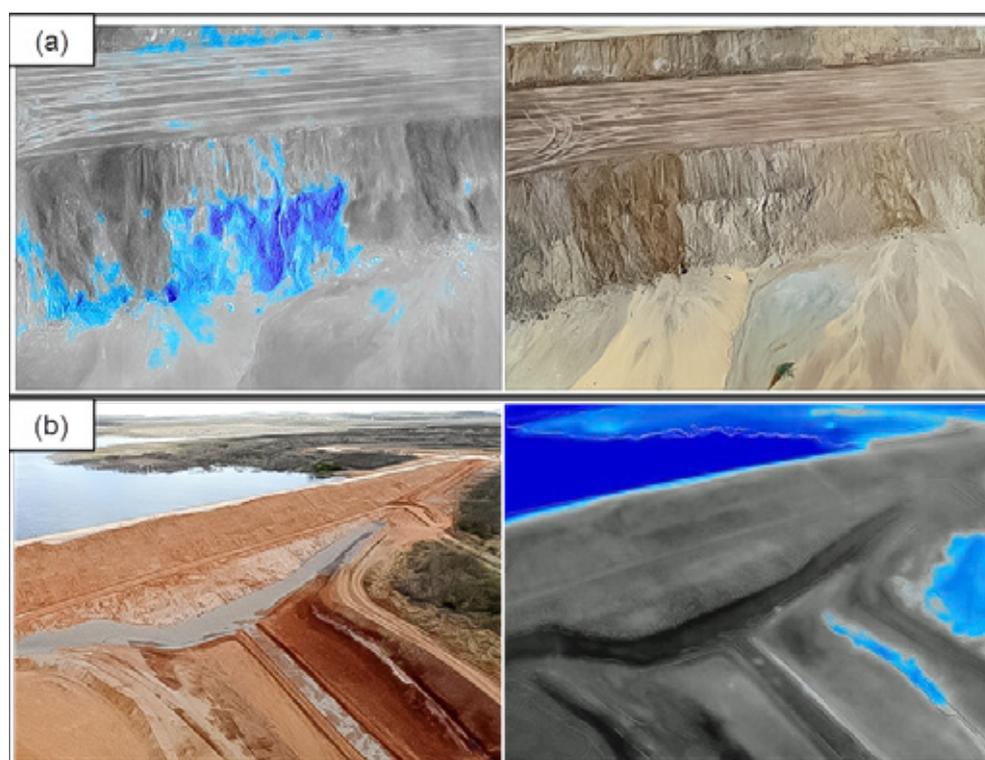


Figura 71: Exemplos de aplicação de drone para detecção de locais com temperatura anômala (em azul): imagem termal (à esquerda) e imagem padrão (à direita). (a) vista de “ponto frio” no talude de jusante de uma barragem de mineração; (b) vista de “ponto frio” decorrente de percolação em terreno natural a jusante de uma barragem de mineração.

De forma remota, o Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), sistema oficial de gestão de barragens de mineração no território nacional, em contínuo aperfeiçoamento, com os módulos para os fiscais da ANM, empreendedores, auditores externos (órgãos estatais e

de controle) e sociedade civil, possibilita uma atuação célere, homogênea e padronizada nas questões de segurança de barragens. Além de integrar o cadastro nacional de barragens de mineração, o SIGBM é uma ferramenta de gestão, acompanhamento e fiscalização do cumprimento de diversas obrigações dos empreendedores, possibilitando o envio e recebimento de extratos de inspeções, declarações de condições de estabilidade, declarações de conformidade e operacionalidade, mapas de inundação, registros de incidentes e acidentes, e de solicitações de atualização de dados cadastrais. No módulo específico desenvolvido para os fiscais da ANM, é possível gerenciar as autuações geradas automaticamente pelo sistema, ao detectar não conformidades. A fiscalização de campo é feita com auxílio do aplicativo 'E-Fiscal' (instalado em dispositivos móveis, como *tablets*), que reúne os requisitos normativos a serem verificados durante ação fiscalizatória. O aplicativo é integrado ao SIGBM Web, tornando o processo de transferência de dados todo automático. Assim, ao finalizar uma fiscalização, o banco de dados do SIGBM é imediatamente atualizado, refletindo nas informações disponibilizada ao público via SIGBM Público.

A SBM/ANM em conjunto com a Coordenação de Geoinformação Mineral da ANM – COGEO e a empresa Imagem, representante da ESRI no Brasil, desenvolveu um conjunto de dashboards, integrando os dados geoespaciais do SIGBM. O primeiro dashboard, desenvolvido em 2021, permite que a SBM monitore o status em tempo real das situações emergenciais reportadas no SIGBM, apresentando no painel novas estruturas que entram ou aumentam seu nível de emergência ou alerta. Essas situações de emergência são visualizadas em forma de alarmes pulsantes, que são monitorados continuamente nos escritórios das equipes de barragens. Em 2022, foram desenvolvidos os dashboards de 'Fatores de Segurança' e 'Estado de Conservação', que permitem visualizar tendências. Dessa forma, a ANM consegue visualizar temporalmente a evolução de uma anomalia em uma estrutura ou dos fatores de segurança, à medida que o SIGBM é alimentado pelos regulados, quinzenalmente, possibilitando a antecipação de ações da Agência. Esses *dashboards* receberam o Prêmio de Excelência no Uso do Sistema ArcGIS na Transformação Digital. A premiação foi revelada no EU ESRI 2022, o maior encontro de usuários brasileiros do Sistema de Informações Geográficas, que ocorreu em setembro de 2022. O reconhecimento considera o impacto que a ferramenta traz à sociedade e à atuação da ANM na fiscalização de segurança de barragens.

Observando o princípio da transparência e viabilizando a participação e o controle social sobre a ação institucional, a SBM/ANM, além de manter o SIGBM Público operacional e atualizado, emite e disponibiliza regularmente em sua página oficial relatórios mensais ("Boletins de Barragens de Mineração"), trimestrais ("*Report* Trimestral de Descaracterização de Barragens a Montante") e anuais ("Relatórios Anuais de Segurança

de Barragens de Mineração”) acerca do panorama das condições de segurança das estruturas e das ações de fiscalização. Além disso, imediatamente após as campanhas regulares de entrega de declarações de condição de estabilidade - DCE (semestrais) e de declarações de conformidade e operacionalidade de planos de ação de emergência - DCO (anuais), são emitidos relatórios resumindo e comparando os resultados das campanhas. Para garantir o efetivo acesso à informação, a SBM/ANM responde diariamente a questões recebidas no e-mail institucional (segurancadebarragens@anm.gov.br) e mantém em seu website uma relação de respostas a perguntas frequentes (FAQ) referentes a barragens e respectivos aspectos legais e normativos. Ainda, em atendimento à política de dados abertos do Poder Executivo Federal, os dados que constam no SIGBM podem ser acessados e usados por qualquer cidadão via Portal Dados Abertos (<https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/barragens-de-mineracao>, acesso em 03/10/2023).

3.4.5 Conclusões

A segurança das barragens é um tema que sensibiliza e preocupa a população e a indústria da mineração, em razão dos desastres recentes no Brasil e no mundo. Constata-se que a partir da atuação estruturada das agências e órgãos estaduais, das demandas da sociedade civil organizada, das proposições da comunidade técnico-científica e das respostas do setor mineral, significativos avanços legais, técnicos, normativos, institucionais e corporativos foram obtidos no sentido de atender aos objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens, instituída há pouco mais de uma década.

Observa-se, nos últimos anos, um substancial aumento do número de obrigações, restrições e requisitos criados para regulamentar as disposições legais. Ao longo dos processos de revisão e avaliação dos resultados regulatórios, os diagnósticos atualizados da situação de segurança de barragens de mineração no país serão considerados, visando tanto conferir maior razoabilidade e eficiência na atuação estatal quanto manter o alinhamento às melhores práticas normativas nacionais e internacionais.

Entendendo que os cenários de ameaça associados às mudanças climáticas projetadas para as próximas décadas não podem ser ignorados, é fundamental que as concepções e critérios técnicos de projeto de barragens e estruturas associadas, especialmente de seus sistemas extravasores e de drenagem, acompanhem as tendências, abordem as incertezas envolvidas e antecipem estratégias de adaptação às novas condições ambientais.

O desenvolvimento de novos sistemas possui grande potencial para orientar e auxiliar a atuação de órgãos fiscalizadores de segurança de barragens. Atualmente, há projetos em andamento que buscam detectar de forma automatizada anomalias ou mudanças sensíveis nas estruturas a partir de produtos de sensoriamento remoto, e promover a transferência em tempo real de dados da instrumentação de barragens a um sistema de alerta institucional, tornando possível atuações ainda mais céleres e eficientes da ANM. De forma simultânea à implementação de sistemas, a contínua capacitação e a participação em discussões técnicas mostram-se como estratégias essenciais a serem seguidas para o aprimoramento da regulação e fiscalização, rumo aos objetivos da PNSB. Da mesma forma, a qualificação dos profissionais que atuam na indústria e o desenvolvimento de guias de boas práticas abordando concepção, projeto, operação, monitoramento e descaracterização de barragens de mineração devem ser continuamente perseguidos e fomentados.

Com a descaracterização de barragens alteadas pelo método a montante, a proibição desse tipo de construção, a redução do uso de barragens para fins de disposição de rejeitos (com o avanço de tecnologias para disposição em pilhas), o fomento às boas práticas de governança e *compliance* no setor regulado, o estabelecimento de certificações e controles técnicos específicos relacionados à segurança de barragens e o fortalecimento da regulação e fiscalização, tem-se o estabelecimento de uma série de ações tangíveis, em curso, para a mitigação dos riscos e, possivelmente, reduzindo drasticamente a possibilidade de novos desastres envolvendo barragens de mineração no Brasil.

3.5 A ANA e a gestão de barragens

- Aline Cristina Leal Costa Da Silva
- Leandro Mendes da Silva
- Rogério de Abreu Menescal

Para além das atribuições mencionadas anteriormente, de gestão e manutenção do SNISB e de coordenar a elaboração do RSB, a ANA, enquanto órgão fiscalizador de segurança das barragens, cujo principal uso é acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico, situadas em corpos hídricos de domínio da União, vem atuando na construção de procedimentos para uma adequada regulação e fiscalização.

Para isso, foram editados regulamentos complementares aos definidos pelo CNRH, conforme indicado no quadro 3.

Quadro 4: Regulamentos editados pela ANA

A gestão da segurança das barragens envolve, em um primeiro momento, a classificação dos empreendimentos quanto ao seu enquadramento na PNSB, conforme critérios estabelecidos pelo CNRH e complementados pela ANA por meio da Resolução nº 132, de 22 de fevereiro de 2016, exigindo um conjunto de informações mínimas que permitam a avaliação da barragem.

- a. A ANA também editou Resolução nº 236, de 2017, estabelecendo a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos seguintes instrumentos:
- b. Inspeção de Segurança Regular (ISR), atividade sob responsabilidade do empreendedor que visa a identificar e a avaliar anomalias que afetem potencialmente as condições de segurança e de operação da barragem, bem como seu estado de conservação, com periodicidade estabelecida no normativo;
- c. Inspeção de Segurança Especial (ISE), atividade sob a responsabilidade do empreendedor que visa a avaliar as condições de segurança da barragem em situações específicas, devendo ser realizada por equipe multidisciplinar de especialistas nas fases de construção, operação e desativação;

- d. Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB), um estudo cujo objetivo é diagnosticar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização de dados hidrológicos, as alterações das condições a montante e a jusante do empreendimento, e indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança;
- e. Plano de Ação de Emergência (PAE), documento formal elaborado pelo empreendedor, no qual estão identificadas as emergências em potencial da barragem, estabelecidas as ações a serem executadas nesses casos e definidos os agentes a serem notificados, visando minimizar danos e perdas de vida; e
- f. Plano de Segurança da Barragem (PSB), definido como instrumento da PNSB utilizado para a gestão da segurança de barragem, cujo conteúdo mínimo está detalhado no normativo.

Os procedimentos acerca das atividades de fiscalização de segurança de barragens, por sua vez, foram estabelecidos por meio da Resolução nº 24, de 04 de maio de 2020, que estabelece os instrumentos de fiscalização, possibilidades de infrações e suas respectivas finalidades.

Os dispositivos dessa Resolução se aplicam somente às barragens fiscalizadas pela ANA quanto à segurança da barragem.

De 2016 a 2023, a ANA publicou 489 atos de classificação para atendimento da PNSB. Importa ressaltar que esse número também compreende reclassificações e revogações, decorrentes, por exemplo, de alterações no empreendimento ainda na fase de projeto ou após a conclusão das obras.

Um dos principais desafios identificados no âmbito da fiscalização de segurança de barragens de acumulação de água é a obtenção das informações necessárias para a sua classificação quanto ao enquadramento na PNSB. São numerosos os pequenos empreendimentos, públicos e privados, para fins de usos múltiplos, nos diversos estados.

Como forma de incrementar o cadastro e a inserção de informações completas sobre as barragens no SNISB, bem como de fomentar a cultura de segurança de barragens na esfera estadual, a ANA, por meio de contratos firmados com os órgãos gestores estaduais de recursos hídricos, no âmbito do Programa de

Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas – PROGESTÃO⁷³, premia, financeiramente, o cumprimento de metas relacionadas à:

- I. Inserção dos dados de barragens no SNISB, considerando a completude e consistência dos dados por meio de, dentre outras, informações sobre autorização ou outro instrumento de regularização dos barramentos, além da classificação de barragens.
- II. Regulamentação, no âmbito do estado, da Lei nº 12.334/2010, alterada pela Lei nº 14.066/2020, e outras porventura necessárias.
- III. Disponibilização de informações necessárias para a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens.
- IV. Promoção de ações de educação e comunicação voltados à conscientização da sociedade sobre o tema, envolvendo empreendedores e representantes da Defesa Civil.
- V. Definição dos procedimentos para a fiscalização de segurança de barragens e dos critérios para priorizar as ações de fiscalização.
- VI. Implementação das ações de fiscalização.

Cientes de que, as barragens, bem como os atores envolvidos, estão especialmente distribuídas no território brasileiro, a ANA considera como fundamental, tendo em vista a capilaridade das ações necessárias, a realização de arranjos institucionais que incluam parcerias com os órgãos gestores estaduais e outras instituições, para viabilizar alcance o público desejado.

A PNSB traz como competência para a ANA a promoção e a articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens. A coordenação entre os diversos OFSBs, dentro de suas competências e nos diversos níveis de Governo, é um importante suporte à implementação efetiva da Política. Além dos órgãos federais (ANA, ANEEL, ANM e Ibama), entes estaduais são responsáveis pela regulação e fiscalização das barragens de usos múltiplos e resíduos industriais localizadas em áreas de sua competência.

Essa complexa estrutura de numerosos agentes com competências de regulação e fiscalização, além da heterogeneidade de empreendedores,

73 O PROGESTÃO é um programa de pagamento por resultados criado pela ANA, que remunera os órgãos gestores de recursos hídricos a nível estadual quanto ao cumprimento de metas relacionadas à gestão e regulação de recursos hídricos e de segurança de barragens. Os contratos possuem valores fixos, estabelecidos em regulamentos específicos, enquanto as metas são estabelecidas em comum acordo entre os Estados e a ANA, variando de acordo com a sua maturidade na temática.

impõe elevada exigência de articulação para que a PNSB seja efetivamente implementada. Nessa linha, a ANA promove encontros semestrais com os demais fiscalizadores, intitulados “Fórum dos Órgãos Fiscalizadores de Segurança de Barragens”, com o objetivo de promover a troca de experiências e boas práticas entre os diferentes órgãos, bem como o aprimoramento dos procedimentos adotados para cada um.

Como forma de buscar pela redução da assimetria de informações entre os empreendedores, fiscalizadores e população em geral, a ANA disponibiliza no Portal Cidadão do SNISB – disponível em <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/documentos-e-capacitacoes> – diferentes possibilidades de capacitação, por meio de manuais, webinários e de uma Trilha de Aprendizagem em Segurança de Barragens, que traz cursos e documentos relevantes para os diferentes tipos de atores.

A ANA segue atuando na implementação de suas diretrizes estratégicas, buscando fomentar a cultura de segurança de barragens por meio da capacitação, regulação adequada e da coordenação e articulação junto aos demais OFSBs. São envidados esforços constantes para que os desafios da implementação efetiva da PNSB possam ser superados, buscando melhorias e otimização nos processos relacionados.



Salto Majestoso no rio Sucuruí, Costa Rica, Mato Grosso do Sul.

Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

4

ESG, MERCADO VERDE E
O CUIDAR DAS ÁGUAS –
PRÁTICAS INSTITUCIONAIS



4.1 ESG, recursos hídricos e a gestão corporativa

- Maria Jose Gazzi Salum⁷⁴

4.1.1 Introdução

A sigla ESG, do inglês *Environmental, Social and Governance*, que corresponde às práticas ambientais, sociais e de governança de uma organização, foi cunhado em 2004, em uma publicação do Pacto Global, em parceria com o Banco Mundial, chamada *Who Care Wins*. A publicação surgiu de uma provocação do secretário-geral da ONU, Kofi Annan, a 50 CEOs de grandes instituições financeiras, sobre como integrar fatores sociais, ambientais e de governança no mercado de capitais. Portanto, além de questões já pontuadas para o mundo pela ONU, como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, com caráter plural, o ESG passa a incorporar os critérios de análise para investimentos no mercado de capitais.

O entendimento e a aplicabilidade de critérios ESG pelas empresas brasileiras é, cada vez mais, uma realidade. Atuar de acordo com padrões ESG amplia a competitividade do setor empresarial, seja no mercado interno ou no exterior. No mundo atual, no qual as empresas são acompanhadas de perto pelos seus diversos *stakeholders*, ESG é a indicação de solidez, custos mais baixos, melhor reputação e maior resiliência em meio às incertezas e vulnerabilidades.

O ESG tem o princípio básico da sustentabilidade o equilíbrio entre o meio ambiente, meio social e o meio econômico, sem especificar ações e metas, o que remete a uma vasta possibilidade de como cada empreendimento pode contribuir para os três eixos da sustentabilidade em sintonia com as suas realidades locais, ou seja: compartilhar seus valores com as comunidades do seu entorno. Mas, a expressão ESG traz um diferencial em relação a outros princípios e conceitos: a governança sobre os eixos ambiental e social. Essa não é uma conceituação muito aplicada ao “G” da sigla, que se remete, usualmente, a princípios como anticorrupção, ética, transparência, diversidade na composição do Conselho de Administração, direitos humanos, entre outros fatores. Mas, sem dúvida, o que leva um empreendimento a ser ESG é o posicionamento da organização sobre o “E” e o “S”, ou seja: o “G” (Figura 72).

⁷⁴ Engenheira de Minas, Doutora em Tecnologia Mineral, Diretora da RGS-Consultoria e Gestão de Projetos, *Co-chair* do Comitê de Sustentabilidade da *Sigma Lithium Corporation*.
Email: gazzisalum@hotmail.com

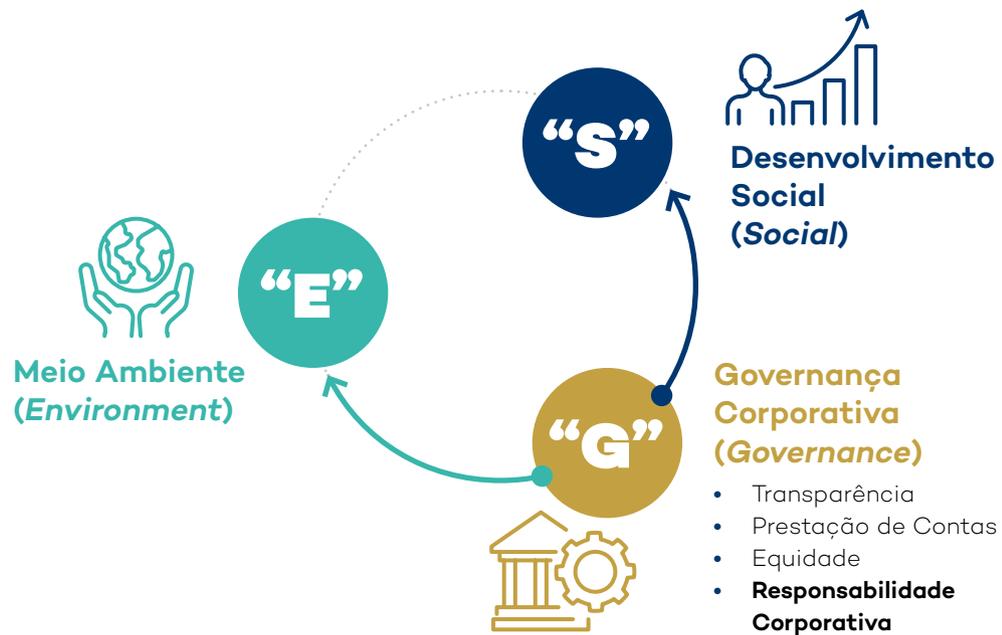


Figura 72: A responsabilidade corporativa sobre o meio ambiente e o desenvolvimento social. Fonte: Apresentação ABNT 2030 na FIESP, 2023.

Ao se falar de um empreendimento que tenha no seu negócio a governança ambiental e social, significa que, em todas as decisões da empresa, os dois eixos (ambiental e social) estarão presentes. Inclusive aquelas que, à primeira vista, reflitam impactos negativos sobre resultados econômicos/financeiros, mas que, no médio e longo prazos, poderão resultar em retornos positivos, em um mundo que se transforma a cada dia em direção à sustentabilidade.

Na inexistência de metas e indicadores, de critérios pré-estabelecidos, de práticas ESG, um grande número de empresas, de diferentes segmentos econômicos, tem utilizado os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS⁷⁵ – como métrica das suas ações ESG, o que é muito pertinente, considerando a sintonia e estreita relação entre eles.

No Brasil, a relação dos ODS com os negócios está presente nas grandes empresas. De acordo com levantamento realizado pela Rede Brasil Pacto Global com as companhias que fazem parte do ISE, Índice de Sustenta-

75 ODS é a sigla para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável que fazem parte da chamada “Agenda 2030”. Trata-se de um pacto global assinado durante a Cúpula das Nações Unidas em 2015, pelos 193 países membros. A agenda é composta por 17 objetivos ambiciosos e interconectados, desdobrados em 169 metas, com foco em superar os principais desafios de desenvolvimento enfrentados por pessoas no Brasil e no mundo, promovendo o crescimento sustentável global até 2030.

bilidade Empresarial da B3, 83% delas possuem processos de integração dos ODS às suas estratégias, metas e resultados.

Importante salientar que em meio a tantas siglas, como as aqui mencionadas (ESG, ODS) e ainda os Princípios do Equador⁷⁶, que fundamentalmente reforçam o desenvolvimento sustentável, expressão lançada em 1987 no Relatório Brundtland⁷⁷, ações de combate às mudanças climáticas e suas metas, amplamente discutidas nas COPs⁷⁸ (Conferência das Partes), começam a se situar como agenda isolada, o que não tem sentido, uma vez que essas ações estão contempladas em todas as “siglas” citadas anteriormente. O ODS de número 13, a título de referência, é dedicado ao combate às mudanças climáticas, o que é fundamental, mas não suficiente para ser ESG, porque esse é mais abrangente. O mesmo pode ser considerado quando se integra às ações de um setor/empresa, o ODS diretamente relacionado à temática água: o ODS 6 - Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos, o que nos parece um objetivo vital no quadro de ações ESG, em destaque aqui o setor mineral.

Ressalte-se, entretanto, que como o ESG foi criado sob a ótica do mercado financeiro, mesmo quando ele é associado à Agenda 2030 de sustentabilidade da ONU, que muitos dos ODS podem não ser cumpridos por uma empresa e ainda assim ela pode ser considerada como ESG pelo mercado financeiro. Mas, ao adotar melhores práticas de ESG uma empresa tem maior inclinação para também contribuir com os ODS. Portanto, é forçoso reconhecer: não há como sustentar que uma empresa contribua para atingir os ODS sem que tenham boas práticas e métricas ESG.

Assim, fica fácil assumir que as decisões de investimento ESG são criações de valor de longo prazo, tanto para os negócios quanto para os territórios. Mais uma vez, há uma conexão direta do ESG com o conceito ODS de criação de “valor compartilhado”, uma vez que ambos tratam de uma abordagem sustentável e inclusiva para o crescimento econômico e a geração de bem-estar. Essa é a grande conexão entre ESG e ODS faci-

76 Os Princípios do Equador são um conjunto de critérios socioambientais de adoção voluntária por instituições financeiras em nível mundial, referenciados nos Padrões de Desempenho sobre Sustentabilidade Socioambiental da *International Finance Corporation* (IFC) e nas Diretrizes de Meio Ambiente, Saúde e Segurança do Grupo Banco Mundial. Os Princípios do Equador são aplicáveis na análise de produtos e processos, quando estes forem utilizados para dar apoio a um novo projeto de investimento.

77 Relatório Brundtland é o documento intitulado *Nosso Futuro Comum (Our Common Future)*, publicado em outubro de 1987.[1] Coordenado pela então primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento originou um documento no qual houve a disseminação da ideia de desenvolvimento sustentável, conceito o qual vinha sendo concebido desde a década de 1970.

78 A Conferência das Partes (COP – *Conference of the Parties*) é o órgão supremo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, adotada em 1992.

litando a transição para uma postura ativa na adoção de novos modelos de negócios por meio de estratégias disruptivas.

Essa percepção de uma estreita relação entre o ESG e os ODS foi absorvida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Em dezembro de 2022, a Associação Brasileira de Normas Técnicas lançou a primeira norma técnica para o ESG no Brasil e no mundo: a Norma ABNT PR 2030, que estabelece um padrão de práticas recomendadas de ESG (Ambiental, Social e Governança), com foco em criar um padrão de conhecimento a respeito da temática ESG fazendo a ponte entre práticas sustentáveis, [a Agenda 2030 e os ODS](#).

Duas questões nessa norma vão ao encontro das observações feitas até o momento: o papel da governança corporativa sobre o “E” e o “S” e a absorção dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS nas suas métricas. A importância da Governança (G) sobre o “E” e o “S” está representada na Figura 73, que incorpora os conceitos da norma.

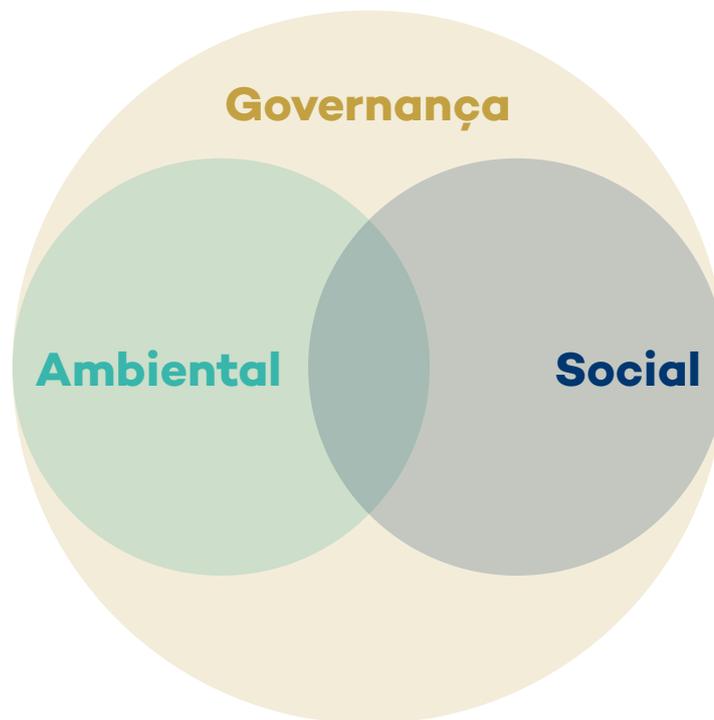


Figura 73: Integração dos Eixos ESG. Fonte: ABNT 2030.

A norma apresenta 3 eixos (ambiental, social e de governança), 14 temas e 42 critérios, por meio dos quais as empresas e atividades, que queiram se certificar, podem avaliar seus estágios de maturidade em relação ao ESG. São quatro os estágios de maturidade:

Estágio 1 – Elementar

A organização possui um processo de identificação de atendimento da legislação e restringe-se à abordagem da legislação e requisitos regulamentares (quando pertinente) e/ou trata o tema ou critério de forma incipiente, se não houver requisitos regulamentares obrigatórios.

Estágio 2 – Não Integrado

A organização trata o critério de modo inicial por meio de práticas dispersas, ainda não integradas de modo satisfatório com a gestão.

Nesses 2 primeiros estágios ainda não é considerado que a organização tenha práticas ESG porque nessas etapas as práticas sustentáveis ainda são isoladas e dispersas ou só existem para atender legislações vigentes.

Estágio 3 – Gerencial

A organização trata o critério estabelecendo processos estruturados, mecanismos de controle e melhoria contínua integrados ao modelo de gestão. A organização pode adotar como base as estruturas de sistema de gestão estabelecidas em normas nacionais e internacionais aplicáveis.

A partir desse estágio, já existe uma atuação mais consciente em relação aos temas de sustentabilidade e já existe uma aderência ao que chamamos de práticas ESG.

Estágio 4 – Estratégico

A organização trata o critério, entendendo os riscos e seus impactos positivos (oportunidades) e negativos (ameaças), relacionados ao seu negócio (incluindo a cadeia de valor), considerando-os na tomada de decisões estratégicas. A organização contribui com soluções para os desafios ESG pela diferenciação de produtos e serviços.

A organização promove o engajamento das partes interessadas, compreendendo suas expectativas e necessidades, de modo a gerar impactos sociais e ambientais positivos dentro do conceito de valor compartilhado.

Aqui é possível verificar as principais lideranças da organização à frente dos processos ESG. Além disso, essas práticas possuem objetivos, metas, indicadores chave e monitoramento contínuo.

Estágio 5 – Transformador

O estágio transformador é aquele em que a organização já posicionou o ESG como base no seu modelo estratégico de negócio e atua para impactar e influenciar outras organizações no fortalecimento dessa pauta, em um movimento mais amplo frente ao seu setor de atividade e cadeias de valor. O trabalho de impacto e influência é uma disciplina contínua e evolutiva.

Como seria esperado, no eixo ambiental da norma, dos 05 (cinco) temas abrangidos um deles se refere a recursos hídricos, com os seguintes critérios: Uso da Água e Gestão de Efluentes.

■ 4.1.2 Os recursos hídricos e o ESG

No caso específico dos recursos hídricos, os anúncios sobre sua escassez, devido ao crescimento exponencial da população mundial, já fazem parte integrante de políticas públicas, de políticas empresariais dos diferentes segmentos industriais, quase sempre no sentido da gestão e economia no consumo deste precioso bem natural e a pergunta é: como essas ações conversam com o ESG?

Aqui também é possível relacionar o ESG com as metas do já mencionado ODS 6 – Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos.

Esse ODS está contemplado no documento da ONU com 08 (oito metas), das quais o Brasil adequou 6 (seis) à realidade nacional, considerando 05 delas como finalísticas e 03 como de implementação, de acordo com documento do IPEA, publicado em 2018. Sendo as metas finalísticas definidas como aquelas cujo objeto relaciona-se diretamente (imediatamente) para o alcance do ODS específico e as de implementação como aquelas que se referem a recursos humanos, financeiros, tecnológicos e de governança (arranjo institucional e ferramentas: legislação, planos, políticas públicas, programas, etc.) necessários ao alcance dos ODS (ONU – Agenda 2030).

A Tabela 14 apresenta um quadro resumo das metas propostas pela ONU para o ODS 6, da adaptação brasileira a essas metas, se foram consideradas como finalísticas ou de implementação, indicadores e com quais outros ODS essas metas têm relação.

Tabela 14 ODS 6: suas metas, indicadores e relação com outros ODS. Fonte: ONU, 2015.

META (ONU)	Adaptação ao Cenário Brasileiro	Tipo	Indicadores	Relação com outros ODS
6.1. Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos.	6.1. Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água para consumo humano, segura e acessível para todos.	Finalística	<ol style="list-style-type: none"> 1. Percentual da população que utiliza fontes de água segura 2. Percentual de domicílios rurais abastecidos por rede de distribuição e por poço ou nascente com água segura para o consumo humano por meio de canalização interna 3. Percentual de análises que apresentam Escherichia Coli na água distribuída em desacordo com o padrão de potabilidade 4. Percentual da população, total e por nível de renda, abastecida por sistema ou solução alternativa de água 	<p>ODS 1 (meta 1.4 e 1.5)</p> <p>ODS 3 (meta 3.3, 3.8 e 3.9)</p>
6.2. Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade.	Mantida em sua íntegra	Finalística	<ol style="list-style-type: none"> 1. Percentual da população que utiliza instalações sanitárias seguras (modifica o texto original da ONU e o atual do IBGE, ao utilizar “população” como a soma de urbana + rural) 2. Número de pessoas em situação de vulnerabilidade que utilizam instalações sanitárias seguras 3. Percentual de esgoto coletado e adequadamente tratado 	<p>ODS 1 (metas 1.4,e 1.5)</p> <p>ODS 3 (metas 3.3, 3.8 e 3.9)</p> <p>ODS 5 (meta 5c)</p>

META (ONU)	Adaptação ao Cenário Brasileiro	Tipo	Indicadores	Relação com outros ODS
6.3. Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas, e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente.	6.3. Até 2030, melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando o lançamento de materiais e substâncias perigosas, reduzindo pela metade a proporção do lançamento de efluentes não tratados e aumentando substancialmente o reciclo e reúso seguro localmente.	Finalística	1 – Proporção de águas residuais tratadas de forma segura. 2 – Proporção de corpos hídricos com boa qualidade ambiental.	ODS 3 (metas 3.3, 3.8 e 3.9) ODS 9 (metas 9.4 e 9.5) ODS 11 (metas 11.6 e 11.b) ODS 12 (metas 12.2, 12.4, 12.5, 12.a e 12.b) ODS 14 (metas 14.1, 14.2) ODS 15 (metas 15.1, 15.3)
6.4. Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.	6.4. Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores, assegurando retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para reduzir o número de pessoas que sofrem com a escassez.	Finalística	1. Nível de estresse hídrico: retirada de água doce como proporção dos recursos de água doce disponíveis	ODS 1 (meta 1.5) ODS 2 (metas 2.3 e 2.4) ODS 3 (meta 3.8) ODS 7 (metas 7.2 e 7.3) ODS 8 (meta 8.4) ODS 9 (metas 9.4 e 9.5) ODS 11 (metas 11.6 e 11.b) ODS 12 (metas 12.2 e 12.4) ODS 13 (metas 13.1, 13.2 e 13.b) ODS 15 (meta 15.1) ODS 17 (meta 17.4)

META (ONU)	Adaptação ao Cenário Brasileiro	Tipo	Indicadores	Relação com outros ODS
<p>6.5. Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado.</p>	<p>6.5. Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis de governo, inclusive via cooperação transfronteiriça.</p>	Implementação	<p>1. Percentual de bacias hidrográficas com elaboração e efetiva implementação de planos de gestão integrada dos recursos hídricos</p>	<p>ODS 9 (metas 9.4 e 9.5) ODS 11 (metas 11.6 e 11.b) ODS 12 (metas 12.2, 12.a e 12.b) ODS 13 (metas 13.1, 13.2, 13.a e 13.b) ODS 14 (meta 14.1) ODS 15 (meta 15.a) ODS 17 (metas 17.6 e 17.16)</p>
<p>6.6. Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.</p>	Mantida sem alteração	Finalística	<p>A ser estabelecido em conjunto com o IBGE, Ipea e demais órgãos produtores de informações.</p>	<p>ODS 2 (meta) 2.4) ODS 7 (metas 7.2 e 7.3) ODS 8 (meta 8.9) ODS 9 (metas 9.4 e 9.5) ODS 11 (metas 11.5, 11.6 e 11.b) ODS 12 (metas 12.2 e 12.b) ODS 13 (metas 13.1 e 13.2) ODS 14 (meta 14.1) ODS 15 (metas 15.1, 15.2, 15.3 e 15.4) ODS 17 (meta 17.4)</p>

META (ONU)	Adaptação ao Cenário Brasileiro	Tipo	Indicadores	Relação com outros ODS
6.a. Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reúso.	6.a. Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio ao desenvolvimento de capacidades para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e ao saneamento, incluindo, entre outros, a gestão de recursos hídricos, a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reúso.	Implementação	A identificação dos indicadores nacionais deverá ser feita posteriormente em conjunto com o IBGE, Ipea e demais órgãos produtores de informações.	ODS 12 (meta 12.a) ODS 13 (meta 13.b) ODS 17 (metas 17.4, 17.6, 17.7 e 17.16)
Meta 6.b. Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.	Meta 6.b. Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais e promover o controle social para melhorar a gestão da água e do saneamento.	Implementação	1. Proporção de estados, municípios e comitês de bacia hidrográfica que efetivam, de forma continuada, procedimentos operacionais para a participação das comunidades locais na elaboração e monitoramento da gestão da água 2. Proporção de estados, municípios que efetivam, de forma continuada, procedimentos operacionais para a participação das comunidades locais na elaboração e monitoramento de instrumentos de gestão do saneamento.	ODS 5 (metas 5.5 e 5.a) ODS 11 (meta 11.b) ODS 12 (meta; 12.2 e 12.b) ODS 13 (meta 13.b) ODS 16 (metas 16.5, 16.6 e 16.7)

Esses dados apresentados na Tabela 14 vão ao encontro do que foi mencionado de que o atendimento a um único ODS, mesmo integrando todas as suas metas, não é suficiente para qualificar determinado empreendimento como ESG quanto à sua estratégia de lidar com os recursos hídricos.

O atendimento, por exemplo, à meta 6.4: “Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores, assegurando retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez” está relacionada a algumas metas de 11 dos 17 ODS, a saber: 1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15 e 17, que se referem a: Erradicação da Pobreza; Fome Zero e Agricultura Sustentável; Saúde e Bem Estar; Energia Limpa e Acessível; Trabalho Decente e Crescimento Econômico; Indústria, Inovação e Infraestrutura; Cidades e Comunidades Sustentáveis; Consumo e Produção Sustentáveis; Ação Contra a Mudança Global do Clima; Vida Terrestre e Parceria e Meios de Implementação, respectivamente.

De fato, a correlação do ODS 6, meta 6, com, por exemplo, o ODS 12: Consumo e Produção Sustentáveis, ou com o ODS 2 Fome Zero e Agricultura Sustentável, em termos de uma gestão eficaz dos recursos hídricos, é extremamente pertinente.

Em relação à aplicação da ABNT – 2030, de certificação ESG, relacionada aos recursos hídricos, as Tabelas 15 e 16 apresentam as declarações a serem feitas pelos interessados em relação aos critérios: Uso da Água e Gestão de Efluentes, respectivamente.

Tabela 15: Procedimento para verificação ESG – Critérios de Avaliação Recursos Hídricos – Uso da Água. Fonte: ABNT 2030/ 2022.

EIXO	AMBIENTAL
TEMA	RECURSOS HÍDRICOS
CRITÉRIO	USO DA ÁGUA - ITEM 7.1.2.1 DA PR 2030
E5	A organização mapeia o consumo de água com suas atividades, estabelecendo indicadores, metas e planos de ação para alcance das metas de redução de consumo de água. A organização já possui implementados projetos de reutilização de água de reúso ou aproveitamento de água da chuva. Os resultados relacionados aos projetos são divulgados publicamente. A organização possui ações dirigidas às partes externas no contexto do uso da água

EIXO	AMBIENTAL
TEMA	RECURSOS HÍDRICOS
CRITÉRIO	USO DA ÁGUA - ITEM 7.1.2.1 DA PR 2030
E4	A organização mapeia o consumo de água com suas atividades, estabelecendo indicadores, metas e planos de ação para alcance das metas de redução de consumo de água. A organização já possui implementados projetos de reutilização de água de reúso ou aproveitamento de água da chuva. Os resultados relacionados aos projetos são divulgados publicamente
E3	A organização mapeia o consumo de água com suas atividades, estabelecendo indicadores, metas e planos de ação para alcance das metas de redução de consumo de água
E2	A organização apenas mapeia o consumo de água com suas atividades
E1	A organização não trata o requisito

Tabela 16: Procedimento para verificação ESG – Critérios de Avaliação Recursos Hídricos – Gestão de Efluentes. Fonte: ABNT 2030/ 2022.

EIXO	AMBIENTAL
TEMA	RECURSOS HÍDRICOS
CRITÉRIO	GESTÃO DE EFLUENTES - ITEM 7.1.2.2 DA PR 2030
E5	A organização realiza a gestão de efluentes de acordo com o estabelecido na legislação, fazendo o monitoramento das vazões e características dos efluentes gerados. A organização realizou substituição de matérias-primas que possam gerar impactos negativos ao meio ambiente, possui plano de redução do volume de efluentes gerados como objetivos e metas estabelecidos e implementou inovações tecnológicas para atingimento das metas
E4	A organização realiza a gestão de efluentes de acordo com o estabelecido na legislação, fazendo o monitoramento das vazões e características dos efluentes gerados. A organização realizou substituição de matérias-primas que possam gerar impactos negativos ao meio ambiente e possui plano de redução do volume de efluentes gerados como objetivos e metas estabelecidos

EIXO	AMBIENTAL
TEMA	RECURSOS HÍDRICOS
CRITÉRIO	GESTÃO DE EFLUENTES - ITEM 7.1.2.2 DA PR 2030
E3	A organização realiza a gestão de efluentes de acordo com o estabelecido na legislação, fazendo o monitoramento das vazões e características dos efluentes gerados. A organização realizou substituição de matérias-primas que possam gerar impactos negativos ao meio ambiente
E2	A organização realiza a gestão de efluentes de acordo com o estabelecido na legislação, estabelecendo controles tradicionais para conservação da água e analisando a viabilidade de adoção de métodos alternativos de controle
E1	A organização realiza a gestão de efluentes de acordo com o estabelecido na legislação

As Tabelas 15 e 16 pontuam, mais uma vez, a relação entre o ESG e os ODS, considerando que metas e indicadores utilizados pelos empreendedores na busca pela certificação ESG estão claramente presentes nos ODS e não são especificados na Norma.

Enfim, o ESG não é um instrumento de sustentabilidade que se direciona apenas à “pegada hídrica” de um empreendimento/atividade, mesmo que as ações em prol de uma menor pegada tenham uma transversalidade muito abrangente. Ser ESG inclui uma somatória de outras ações ambientais, sociais e de governança, inclusive a governança corporativa em considerar o “E” e o “S” nas suas decisões. Contudo, não se intitula ESG qualquer atividade humana que não considere a importância da preservação e uso sustentável dos recursos hídricos no presente e no futuro.

4.2 Pagamento por serviços ambientais: o mercado verde em apoio à gestão de recursos hídricos

- Mário Cicarelli Pinheiro⁷⁹
- Patricia Helena Gambogi Boson⁸⁰
- Tácito Ribeiro de Matos⁸¹

4.2.1 Introdução

Quando lançado, em 2006, o livro “A Gestão de Recursos Hídricos e a Mineração”, em seu Capítulo 2, foi dada ênfase, com o apoio do setor da mineração, ao modelo de gestão de recursos hídricos instituído pela Política Nacional de Recursos Hídricos, expressa na Lei 9.433 de 1997. No texto, destacou-se a modernidade dessa Política, mais voltada para uma regulação negociada em um sistema participativo, com fundamentação técnica, além da sua importante contribuição ao estabelecer o conceito da água como um bem finito e dotado de valor econômico. Embora, na ocasião, já fosse apontada a lentidão para a implementação da Política tal como preconizada, o advento da Agência Nacional de Águas - ANA (agora Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), em 2000, insinuava um cenário bastante promissor para adequada gestão dos recursos hídricos. Entretanto, passados 16 anos, em recente publicação da Confederação Nacional da Indústria – CNI, intitulada “Estudo sobre a Cobrança pelo Direito de Uso de Recursos Hídricos⁸²”, em uma abordagem mais ampla verifica-se que ainda são necessários mais esforços para garantir a segurança hídrica e a valoração da água.

A realidade é inconteste. São periódicas as notícias sobre o risco hidrológico na geração hidrelétrica e no abastecimento de água para consumo humano. A Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, tem disponibilidade hídrica crítica, comparável à do interior do Ceará, e, “menos da metade dos municípios do Brasil encontra-se em situação satisfatória de

79 Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, mestrado em Engenharia Civil e doutorado em Engenharia Civil pela UFRJ

80 Engenheira civil, pelo PUC/MG, especialização em administração pela Fundação Dom Cabral. Larga experiência em planejamento e gestão ambiental e de recursos hídricos e na formulação de políticas públicas e institucionais na área de ciência e tecnologia, meio ambiente e hidrologia. Email: titaboson@gmail.com

81 Advogado, Faculdade Nacional de Direito (UFRJ), especialização em Direito Tributário e Administrativo/UFRJ

82 <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2022/6/estudo-sobre-cobranca-pelo-direito-de-uso-de-recursos-hidricos/>

oferta de água⁸³. Sem falar nos trágicos casos de alagamentos e deslizamentos em áreas urbanas, relacionados à inadequação das estruturas de drenagem (muitas vezes por falta de investimento), com dolorosas perdas de vidas, além de perdas de sonhos, conquistas e realizações.

Objetivando contribuir para o aprimoramento da Política de Recursos Hídricos e do Sistema de regulação e de gestão, o estudo da CNI, que deu ênfase à análise e a proposições de alteração das regras do instrumento da cobrança pelo uso da água, propõe alguns caminhos para a efetividade dessa Política, sendo que, para a cobrança, destaca sua necessária revisão conceitual, indicando, categoricamente, necessidade de normas com status de lei que a sustente e oriente, além da indicação de novos instrumentos e soluções criativas.

No campo das soluções criativas propostas pelo estudo, destaca-se o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), tema do presente capítulo.

O instituto do PSA, ou pagamento por serviços ambientais e ecossistêmicos, surgiu como uma novidade em 2021. Em verdade, esse instituto foi previsto há quase 10 anos, no Código Florestal, mas apenas de forma programática, e nunca foi usado. Por pressão e atuação da sociedade civil, o Congresso Nacional, em 13 de janeiro de 2021, aprovou uma lei específica, a Lei 14.119 regulamentando o instituto e tornando-o executável. De acordo com a lei, a integração do PSA com a gestão de recursos hídricos é, como se verá, evidente e inspiradora.

Como evidência, citemos aqui apenas a letra da Lei quando trata dessa integração:

Art. 4º Fica instituída a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), cujos objetivos são:

...

II - estimular a conservação dos ecossistemas, dos recursos hídricos, do solo, da biodiversidade, do patrimônio genético e do conhecimento tradicional associado;

...

V - incentivar medidas para garantir a segurança hídrica em regiões submetidas a escassez de água para consumo humano e a processos de desertificação;

Art. 5º São diretrizes da PNPSA:

83 Oliveira Gesner, Villela Ferreira Arthur, Nem Negacionismo, Nem Apocalipse – Economia do Meio Ambiente: Uma perspectiva Brasileira – 1ª ed. – São Paulo: BE Editora, 2021.

...

V - a integração e a coordenação das políticas de meio ambiente, de recursos hídricos, de agricultura, de energia, de transporte, de pesca, de aquicultura e de desenvolvimento urbano, entre outras, com vistas à manutenção, à recuperação ou à melhoria dos serviços ecossistêmicos;

VI - a complementaridade e a coordenação entre programas e projetos de pagamentos por serviços ambientais implantados pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal, pelos Municípios, pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, pela iniciativa privada, por Oscip e por outras organizações não governamentais, consideradas as especificidades ambientais e socioeconômicas dos diferentes biomas, regiões e bacias hidrográficas, e observados os princípios estabelecidos nesta Lei;

Art. 7º O PFPSA⁸⁴ promoverá ações de:

...

III - conservação e melhoria da quantidade e da qualidade da água, especialmente em bacias hidrográficas com cobertura vegetal crítica importantes para o abastecimento humano e para a dessedentação animal ou em áreas sujeitas a risco de desastre;

A inspiração advém do ponto de vista técnico, em que estudos e a experiência demonstram que a adoção de medidas conservacionistas ou o manejo adequado do uso do solo nas bacias hidrográficas podem gerar muitos benefícios para a manutenção do equilíbrio dos recursos hídricos. Seja no sentido de preservar os fluxos de base dos mananciais de superfície, seja no de reduzir a geração de sedimentos por erosão hídrica, com a consequente mitigação da poluição por fontes difusas.

Apenas como referência, alguns bons exemplos podem ser citados, tais como: o fartamente mencionado pagamento pela manutenção das áreas de florestas nas cabeceiras dos mananciais que abastecem Nova York; as exitosas experiências da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ANA, que serão abordadas na próxima seção, como o Programa Produtor de Água; a bem conhecida experiência em Extrema, com o Projeto Conservador das Água; o Programa Bolsa Verde, do estado de Minas Gerais e o Programa Bolsa Floresta, do estado do Espírito Santo. Menciona-se ainda programas assemelhados em outros estados e municípios, além de ações da iniciativa privada, como o Projeto Oásis, da Fundação Boticário.

De modo que, com o advento da Lei 14.119/21, pesquisadores, especialistas, e estudiosos no tema da economia do meio ambiente veem se debruçando sobre a temática da monetização desses serviços, quase sempre tendo como referência o mercado de carbono. A busca é pela possibilidade de se

84 Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais

falar sobre um novo modelo de desenvolvimento, que crie oportunidades para o surgimento de uma nova geração de empreendedores, focada na “conversão dos serviços ambientais em fluxos monetários que possam gerar renda e emprego”⁸⁵. Trata-se de reconhecer os detentores de capital natural como empresários verdes e azuis, gerando um “volume de serviços muito alto para seu entorno e para humanidade como um todo”⁸⁶, reconhecidos, assim, como donos de ativos ambientais e, portanto, remunerados por isso.

É nesse contexto que queremos lembrar aqui, que muitas empresas de mineração (se não todas) possuem, como ativos, extensas áreas de preservação, onde são mantidos os biomas naturais e o equilíbrio local do balanço hídrico. Esses benefícios locais são naturalmente transpostos para áreas de jusante, que podem contar com os serviços ecossistêmicos prestados por essas unidades de conservação. Há que se destacar, que no caso da Região Amazônica, os benefícios podem ser transferidos na mesoescala continental, impulsionados pela massa equatorial continental (mEc), conforme será explicado mais adiante.

A questão básica que se coloca é a de determinação de metodologias que possam quantificar e medir a valoração das unidades de conservação para o equilíbrio dos recursos hídricos.

Nossa missão ao tratar o tema é a de apresentar algumas sugestões metodológicas, calcadas em experiências e aplicações já efetivadas e que poderão ser replicadas para o caso da valoração das unidades de conservação das empresas de mineração. As metodologias aqui apresentadas podem também ser estendidas para a região de entorno dos empreendimentos de mineração, por meio de atuação proativa das empresas em incentivos aos produtores rurais para a adoção de práticas conservacionistas. Ressalta-se que essas práticas não impedem o uso do solo para a agricultura e a pecuária, mas racionalizam a ocupação das terras com medidas que evitam a erosão das camadas superiores do solo e promovem a infiltração das águas das precipitações.

Um dos problemas para se ter uma valoração da produção de água por meio de medidas conservacionistas é a inexistência de dados de monitoramento que possam permitir a comparação entre cenários distintos de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas – preservados ou antropizados. Por essa razão, serão aqui sugeridas metodologias com base em cenários hipotéticos de uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas,

85 Haddad, Paulo R. Uma introdução à economia do século XXI . e-galáxia. Edição do Kindle.

86 Oliveira Gesner, Villela Ferreira Arthur, Nem Negacionismo, Nem Apocalipse – Economia do Meio Ambiente: Uma perspectiva Brasileira – 1ª ed. – São Paulo: BE Editora, 2021.

comparando-se os resultados para o indicador de fluxo subterrâneo mantenedor das vazões de estiagem e das taxas de geração de sedimentos.

Para a Região Amazônica, em particular, a proposta é de avaliar a perda na variável evapotranspiração, que contribui para o aporte de umidade à mEc, importante indutor das precipitações de verão nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste.

Obviamente, as metodologias de valoração quantitativa de produção de água e redução do transporte de sedimentos poderão ser validadas, no médio prazo, por meio de estações de monitoramento hidrométrico estrategicamente instaladas nos cursos de água.

■ 4.2.2 Sugestões metodológicas

Considerando as experiências no tema, com demonstrativos de que a adoção de medidas conservacionistas ou o manejo adequado do uso do solo nas bacias hidrográficas podem preservar os fluxos de base dos mananciais de superfície, bem como reduzir a geração de sedimentos por erosão hídrica, serão descritas duas metodologias com capacidade para aferir esses benefícios.

■ 4.2.2.1 Metodologia para quantificação da transferência de água para o solo

A quantificação dos benefícios da adoção de medidas conservacionistas sobre a sustentação dos fluxos de base nos meses de estiagem, quer seja por meio de práticas adequadas de manejo e uso do solo ou de preservação dos biomas naturais, pode ser feita com aplicação de técnicas consagradas em Hidrologia.

Em uma abordagem simplificada, a quantificação do benefício pode ser avaliada com aplicação da metodologia do antigo SCS – *Soil Conservation Service*, atualmente NRCS – *Natural Resources Conservation Service*, atualizada recentemente por Hawkins . (2009). O conceito da metodologia pode ser sintetizado no esquema da Figura 74, baseado na separação da precipitação PREC sobre a bacia hidrográfica nas componentes de escoamento superficial ESC e infiltração da água no solo FA. A metodologia depende de um único parâmetro, denominado CN – *Curve Number*, que reflete a tipologia de solo e as práticas de uso existentes.

Para um mesmo volume de chuva PREC, as práticas de manejo e uso do solo reduzem o valor do parâmetro CN, resultando em aumento da infil-

tração FA e redução do escoamento superficial ESC. A infiltração pode ser calculada pela fórmula:

$$FA = [S \times (PREC - IA)] / (PREC - IA + S)$$

$$IA = 0,2 S$$

$$S = (25400 / CN) - 254$$

Nessa formulação, IA representa a abstração inicial ou as perdas por retenções e interceptações diversas, enquanto S é o potencial de retenção de água no solo. Todas as variáveis são dadas em mm, exceto o parâmetro CN que é adimensional.

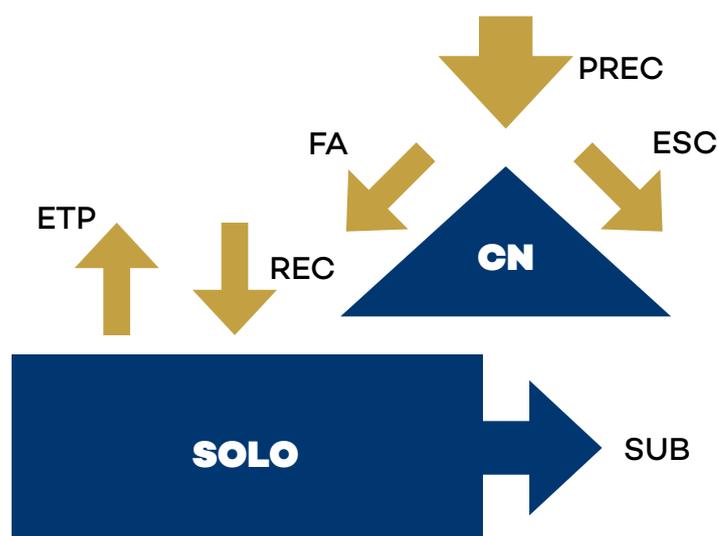


Figura 74: Variáveis para cálculo da redução do escoamento superficial.

Utilizando-se o mesmo conceito mostrado na Figura 74, mas empregando uma simulação mais criteriosa com um modelo matemático, pode-se calcular a recarga REC e o fluxo subterrâneo SUB para diferentes cenários de uso e ocupação do solo, empregando simulação contínua com séries de precipitação (PREC) e evapotranspiração (ETP) mensais. Pode-se aplicar, por exemplo, o módulo SMA – *Soil Moisture Accounting* do modelo matemático HEC-HMS, desenvolvido pelo USACE (2010).

O fluxograma do modelo SMA pode ser visualizado na Figura 75, indicando o processamento mais criterioso do balanço hídrico da água no solo. A infiltração é calculada pelo mesmo método do NRCS, tendo como parâmetro básico a grandeza CN, que varia de acordo com as condições de uso e ocupação do solo.

A **infiltração** leva a água para o reservatório superior do **perfil do solo**, a partir do qual ocorre a percolação para as camadas mais profundas, alimentando os reservatórios denominados: **Aquífero 1** e **Aquífero 2**. Em aplicações práticas do modelo SMA (CABRAL *et al*, 2015; SAMADY, 2017), identifica-se o **fluxo de águas subterrâneas** do **Aquífero 1** como sendo o *interflow* ou escoamento subsuperficial, que ocorre um pouco retardado no tempo em relação ao escoamento superficial, mas que normalmente não provoca erosão em terrenos vegetados.

Já o **fluxo de águas subterrâneas** do **Aquífero 2** seria aquele responsável pela vazão de base dos cursos de água nos meses de estiagem, cujo aumento representa efetivamente o ganho na produção de água com as práticas conservacionistas.

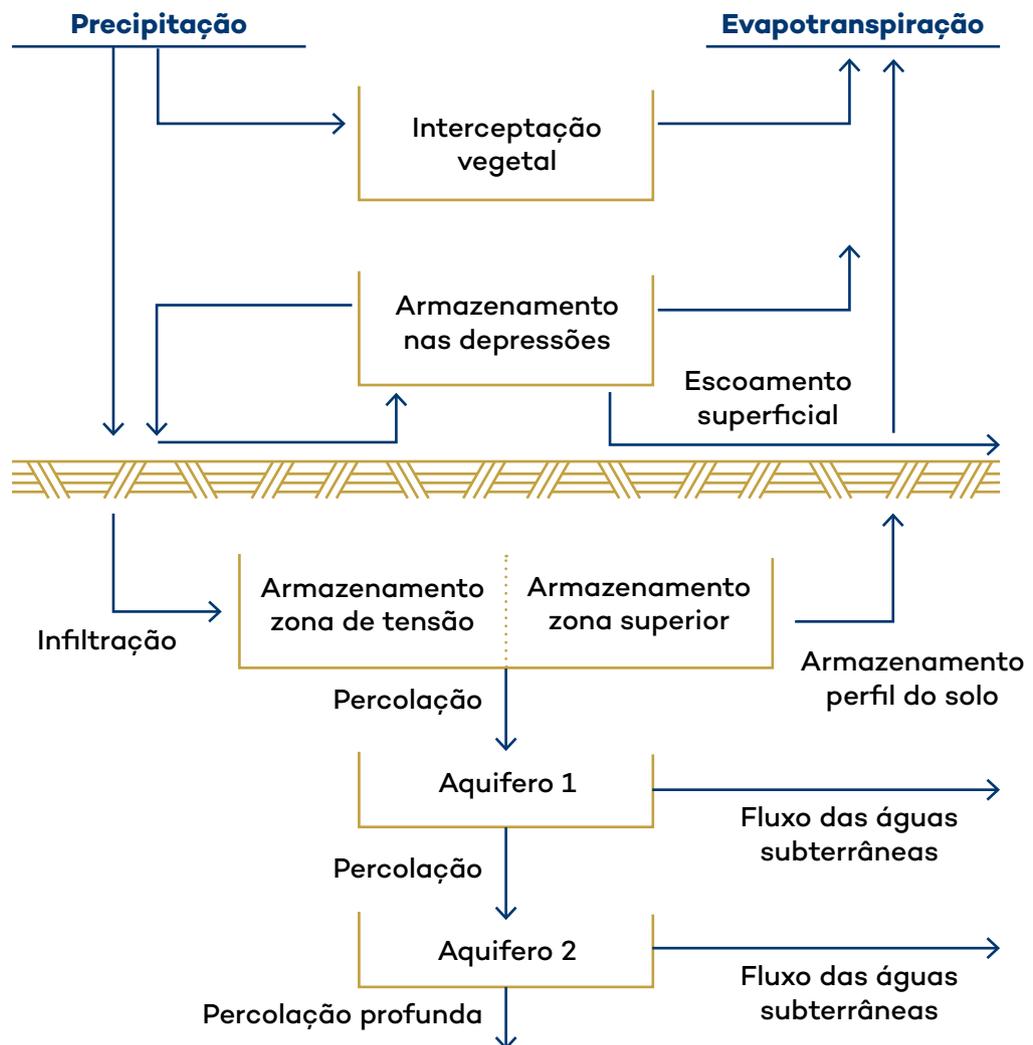


Figura 75: Fluxograma de processamento do modelo matemático SMA (CABRAL I, 2015).

O modelo SMA representa as sub-bacias por meio de um conjunto de reservatórios hipotéticos, conforme mostrado esquematicamente na Figura 75, na qual também estão apresentadas as conexões hidráulicas entre eles. O primeiro dos reservatórios, mostrado na Figura 75, representa a porção da precipitação que é interceptada pela vegetação e não alcança a superfície do solo. O seguinte representa o armazenamento da água sobre a superfície do terreno, em pequenas depressões.

Sequencialmente, constata-se a existência de um reservatório representativo do complexo fenômeno de armazenamento de água no solo, que é dividido por sua vez em duas zonas:

- i. a zona superior, que corresponde à parcela de solo capaz de perder água por evapotranspiração ou percolação, e
- ii. a zona de tensão, que representa a porção do solo que perde água apenas por evapotranspiração.

Os dois reservatórios de armazenamento subterrâneo de água, servem para representar o fluxo hipodérmico e o fluxo de base.

O modelo opera com 19 parâmetros, com valores em faixas que podem ser calibradas ou encontradas em referências na literatura clássica (TUCCI, 1993), principalmente no que se refere aos coeficientes de armazenamento no solo.

■ 4.2.2.2 Metodologia para a redução da carga de sedimentos

A quantificação da redução das taxas de geração de sedimentos como resultado das práticas conservacionistas tem sido mais estudada no Brasil, remontando à implantação do Programa Produtor de Água, pela ANA. Pode-se citar como referência o trabalho de Chaves *et al* (2004), no qual foi utilizada a clássica Equação Universal de Perda de Solo – USLE para avaliar os resultados da aplicação de técnicas de conservação do uso do solo em pastagens degradadas.

No citado trabalho, o método USLE foi desenvolvido em uma nova formulação simplificada, tendo indicado a possibilidade de redução em até 52% nas taxas de erosão e transporte sólido, o que resultaria em um VPI – Valor para Pagamento Incentivado de R\$ 75,00/ha.

O VPI foi um indicador criado especificamente para avaliar a compensação pela prestação do serviço ambiental decorrente da prática conservacionista. Nas áreas agricultáveis, foi mencionado que a adoção da

prática de plantio direto resulta em reduções de até 90% nas taxas de erosão hídrica. Deve-se mencionar que essa prática já vem sendo largamente empregada na moderna agricultura de alta tecnologia no Brasil.

■ 4.2.3 Aplicação das metodologias sugeridas

Apresentadas as metodologias sugeridas, serão retratados, de forma simplificada, os principais resultados da aplicação, com a intenção de provocar e ampliar o debate e como proposta de caminho a ser trilhado para se chegar, objeto do PSA, às possíveis métricas para valoração.

■ 4.2.4 Região do quadrilátero ferrífero

Existem várias unidades de conservação pertencentes a empresas de mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, em especial nas cabeceiras de mananciais que abastecem a Região Metropolitana de Belo Horizonte, daí a escolha dessa região para a avaliação.

Inicialmente, em estudo acadêmico, procedeu-se a uma avaliação preliminar em um caso de aplicação da metodologia descrita na Figura 74, selecionando uma área dominada por solos friáveis e com alto potencial de erosão hídrica e presença de pastagens degradadas, intercaladas com áreas de expansão urbana.

Para o tipo de solo predominante na Formação Baçõ, área alvo para a aplicação das iniciativas de controle e prevenção contra erosão na bacia do Alto Rio das Velhas, tem-se um valor $CN=81$ para as condições de pastagens degradadas. As boas práticas de terraceamento e recuperação de pastagens reduziriam o valor do parâmetro para $CN=70$. Para uma chuva média anual $PREC=1500$ mm, a infiltração passaria de $FA=57.300$ m³/km².ano para $FA=101.400$ m³/km².ano com as medidas de controle e prevenção contra erosão. Nessas hipóteses, a contribuição para o fluxo de base das vazões de estiagens passaria de $q=1,81$ L/s.km² para $q=3,21$ L/s.km², resultando em um incremento na vazão específica de **1,40 L/s.km²**.

No prosseguimento das aplicações da metodologia de valoração, foi selecionada uma sub-bacia do Alto Rio das Velhas para teste da metodologia do modelo SMA. A sub-bacia selecionada está localizada também na Formação Baçõ, drenando um curso de água afluente do ribeirão Mata Porcos, conforme a localização mostrada na Figura 76.

A sub-bacia apresenta as seguintes características principais:

- Curso de água: córrego Sem Nome;
- Área de drenagem: 1,06 km²;
- Comprimento do talvegue: 1,75 km;
- Tempo de concentração: 0,21 h;
- Declividade média do talvegue: 8,7%;
- Declividade média do relevo da bacia: 11,9%;
- Solo predominante: Cambissolo Háplico Distrófico e Argissolo Vermelho Distrófico.

Como não existem dados de monitoramento para a calibração do modelo e considerando que o objetivo do estudo era o de avaliar variações rela-

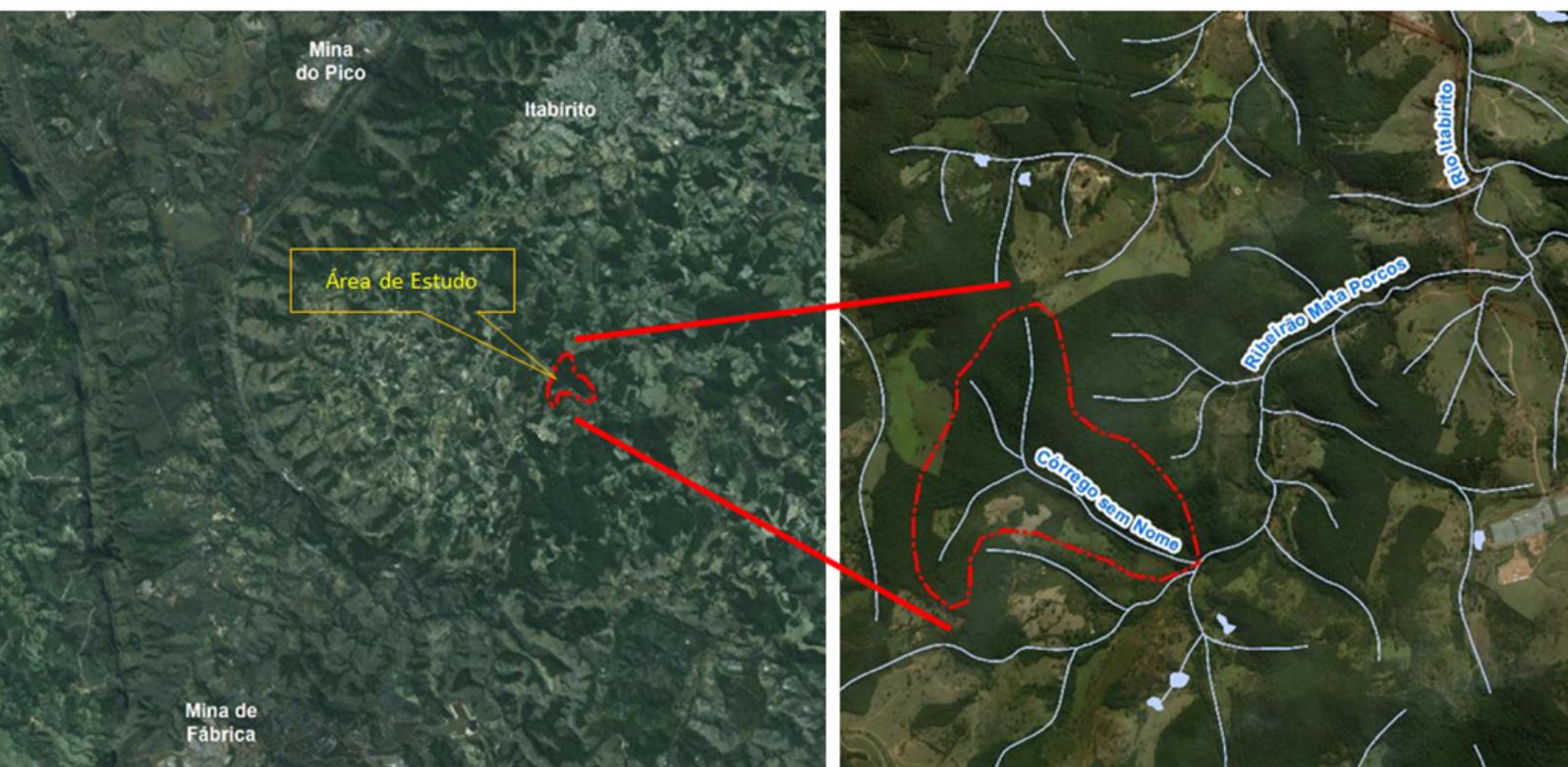


Figura 76: Localização da sub-bacia para aplicação da metodologia do modelo SMA.

tivas entre os valores de fluxo de água subterrânea, foram estabelecidos os seguintes cenários de simulação:

CENÁRIO 1: Área preservada típica de uma unidade de conservação;

CENÁRIO 2: Área desmatada e ocupada com pastagens degradadas;

CENÁRIO 3: Área desmatada com ocupação urbana pouco adensada.

Entre os cenários considerados há alteração da cobertura vegetal e da capacidade de infiltração e armazenamento no “reservatório” solo (Figura 74), resultando em alterações no regime hidrológico.

O modelo SMA foi aplicado em base de tempo diária, utilizando como dados de entrada as séries de precipitação e evaporação diárias ocorridas no ano de 2000. Os gráficos da Figura 77 mostram as séries de dados hidrometeorológicos utilizadas. Nas Figuras 78 e 79 podem ser visualizados os fluviogramas de vazão média diária simulados pelo modelo SMA, podendo-se notar nitidamente as diferenças entre as vazões de pico (menores valores para o Cenário 1 – área preservada) e os fluxos de base nas recessões (maiores valores para o Cenário 1). Essas diferenças refletem a redução do escoamento superficial e o aumento da infiltração no Cenário 1, em relação aos demais cenários de uso antrópico na bacia.

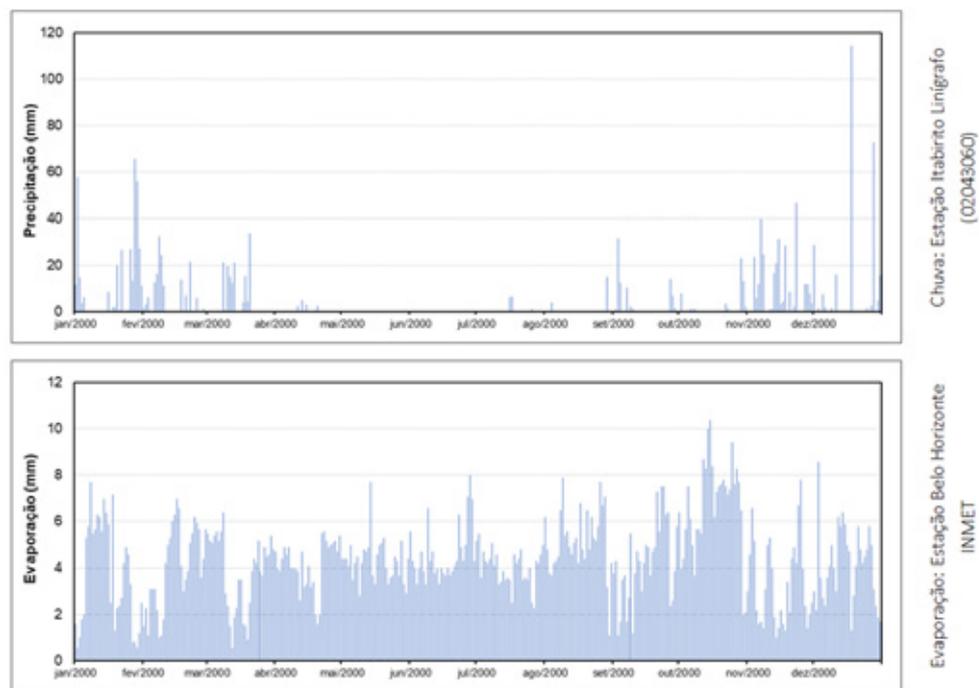


Figura 77: Dados hidrometeorológicos diários de entrada no modelo SMA.

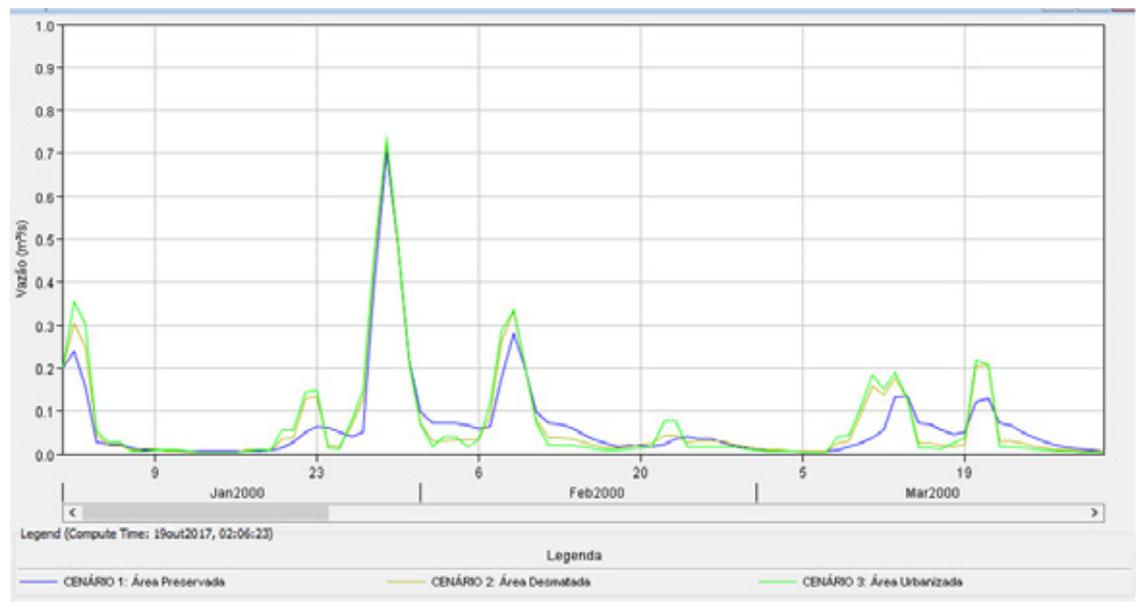


Figura 78: Fluviogramas de vazão média diária gerados pelo modelo SMA.

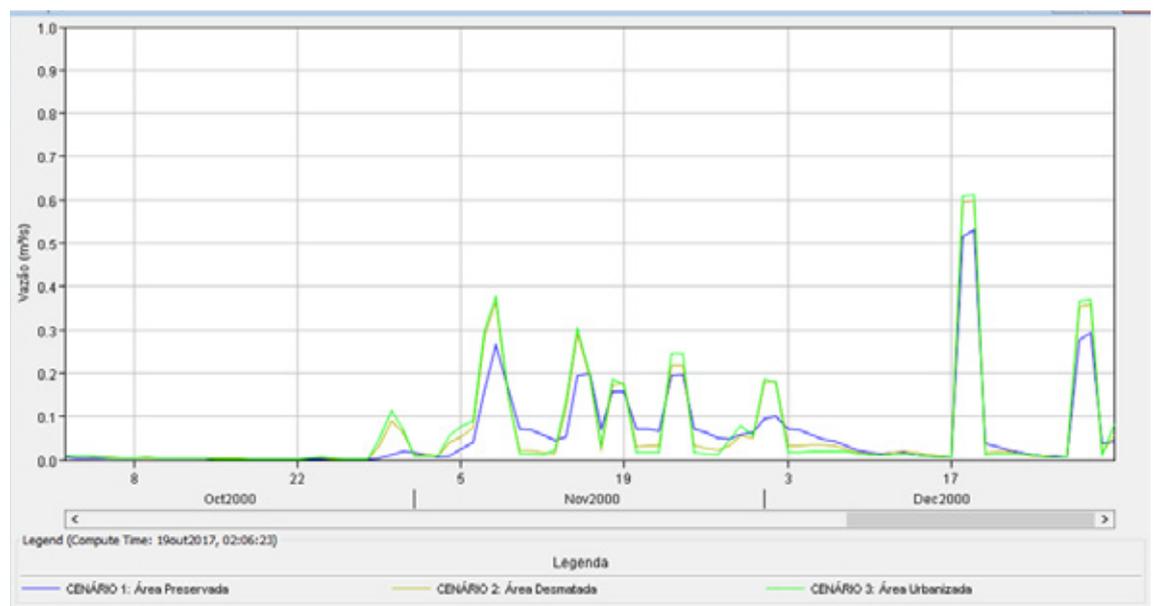


Figura 79: Fluviogramas de vazão média diária gerados pelo modelo SMA.

Uma análise mais detalhada dos resultados do modelo pode ser feita com base nas principais variáveis de entradas, de fluxos em trocas e de saídas de água indicadas na Figura 79, que se encontram listadas na Tabela 17. Primeiramente, nota-se como ocorre um decréscimo acentuado na

INFILTRAÇÃO, de 751 mm para 344 mm, quando a bacia tem ocupações antrópicas. Também nota-se o aumento do ESCOAMENTO SUPERFICIAL (enxurradas), quando a cobertura vegetal da bacia é suprimida para uso e ocupação.

Tabela 17: Variáveis de entrada e de saída do modelo SMA (mm).

VARIÁVEL	CENÁRIO		
	1- MATA	2 - PASTAGEM	3 - URBANIZAÇÃO
Precipitação	1403	1403	1403
Evapotrans. Potencial	1594	1594	1594
Evapotrans. Real	216	150	167
Infiltração	751	477	344
Percolação Aquífero 1	725	452	324
Fluxo Subsuperficial	385	164	106
Fluxo De Base	128	113	86
Escoamento Superficial	433	758	889
Coef. Escoamento Superficial	0,31	0,54	0,63

A modificação mais importante e de maior interesse para o presente trabalho está no FLUXO DE BASE, que repercute na vazão de sustentação do curso de água nos meses de estiagem e pode ser considerada como uma **efetiva produção de água**. O FLUXO DE BASE passa de 86 mm (uso urbano) para 128 mm (área preservada), representando um aumento de 42 mm em toda bacia do córrego Sem Nome. Generalizando esse resultado e considerando que a área de drenagem da bacia é de 1,06 km², tem-se um aumento de **1,33 L/s.km²** na vazão específica do fluxo de base.

Com a aplicação do modelo SMA, podem-se inferir outros benefícios, como o aumento do fluxo subsuperficial na área preservada, em relação à área urbanizada. Embora o fluxo subsuperficial não incremente as vazões de estiagem, tem-se uma grandeza que resulta de um escoamento superficial cessante e, assim, contribuindo para a redução da erosão hídrica das camadas superficiais do solo.

■ 4.2.5 Região amazônica

A metodologia do modelo SMA aplica-se para bacias hidrográficas que apresentem o balanço hídrico em conformidade com o diagrama da Figura 76, que pode ser considerado como representativo da região do Quadrilátero Ferrífero ou de quaisquer regiões do Brasil Central.

Para as aplicações em áreas de conservação da Região Norte, recomenda-se explorar o conceito dos “rios aéreos”, por se tratar de um tema ainda inédito e carente de pesquisas. Embora em escala pequena para a região da Amazônia, quantificar a produção de água precipitável nas unidades de conservação das empresas de mineração, aí incluindo a Flona Carajás, pode ter repercussão positiva para a empresas, dando até visibilidade internacional.

Salienta-se que a valoração da produção de água em área de preservação, feita com base no cálculo do aumento da infiltração, aplica-se para cenários onde o uso e ocupação do solo podem ter influência marcante nessa variável hidrológica. Na Região Amazônica, nas áreas de conservação próximas ao Complexo Carajás, a infiltração ocorre em altas taxas, mesmo no solo desmatado e coberto por pastagens. A variável que governa o balanço hídrico das bacias hidrográficas da Amazônia é a evapotranspiração (ETP), além da precipitação (PREC). A supressão da floresta tropical e a substituição por pastagens podem reduzir a variável ETP e, assim, até aumentar a vazão de base dos cursos de água das grandes bacias hidrográficas, criando quase que um paradoxo.

Já existem estudos que indicam que a vazão do rio Itacaiúnas, nas proximidades de sua foz, aumentou na média de longo termo e nas vazões de base das estiagens, seguindo a intensa substituição da floresta tropical por pastagens (PINHEIRO, 2019). No período de monitoramento fluviométrico entre 1969 e 1989, em uma seção que controla uma bacia hidrográfica de 41.000 km² e ainda com a área de drenagem coberta com a densa Floresta Amazônica, as vazões de referência registradas foram 465 m³/s e 13,1 m³/s, respectivamente para a média de longo termo e para a mínima de estiagem. Entre 1990 e 2017, com a supressão de praticamente 60% da vegetação natural e substituição por pastagens, essas vazões aumentaram respectivamente para 605 m³/s e 38,6 m³/s. Atribuiu-se essa brusca alteração das vazões à redução da ETP, já que o regime de chuvas permaneceu estável.

De outra parte, a evapotranspiração na Floresta Amazônica é fundamental para manter o equilíbrio climático de uma extensa área da América do Sul. Recentemente, tem sido divulgada a teoria dos “rios aéreos” formados na Amazônia, em alusão à mEc que se forma na região, de natureza instável e úmida, sendo a principal responsável pela formação das precipitações nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

Assim, a valoração da produção de água em unidades de conservação na região Amazônica pode ser medida pela redução que ocorre na evapotranspiração nas áreas desmatadas e que deixa de contribuir com água precipitável para os “rios aéreos”. Por exemplo, Bacellar (2005) mostrou que a substituição de floresta tropical por pastagem pode reduzir em até 500 mm/ano o total médio da evapotranspiração. Em uma valoração preliminar, pode-se prever que essa redução representa uma diminuição de 500.000 m³/km² na contribuição de água para a atmosfera, volume este que seria convertido em precipitações locais ou precipitações transportadas, via “rios aéreos”, para as regiões do Brasil Central.

■ 4.2.6 Possíveis métricas para valoração e os desafios da precificação

Diante desses resultados preliminares, a questão seguinte consiste na determinação de métricas que possam ser aplicadas na avaliação dos serviços ambientais prestados pelas praticadas conservacionistas, classificadas como serviços ambientais e ecossistêmicos. O que se pretende, até para a aplicação da Lei de PSA (Lei 14.119/21), é remunerar as ações de reparação e de conservação, como se uma “safra verde”, e dessa forma se fazendo necessária uma métrica bem fundamentada. Como exemplo do esforço de buscas por métricas que deem credibilidade aos processos de pagamento pelos serviços ambientais e ecossistêmicos, fortaleça um mercado próprio da bioeconomia, pode ser citado o trabalho da ECCON Soluções Ambientais⁸⁷.

A ECCON, com contribuições da Reservas Votorantim, recentemente colocou, em consulta pública, mecanismos capazes de medir, reportar e verificar reduções de emissões de gases de efeito estufa para a finalidade de constituir créditos de carbono de origem florestal (“Créditos de Carbono”) que (i) atendam à demanda de neutralização de emissões no Brasil e no mundo; (ii) atendam às demandas de segurança jurídica e metodológica exigidas nos ambientes científicos e mercadológicos internacionais, (iii) **possam incorporar e mensurar outros serviços ambientais** e (iv) promovam benefícios sociais. Daí surge o que a ECCON denominou de PSA Carbonflor, definido como um programa de pagamento por serviços ambientais com foco na redução de emissões de carbono obtidos pela manutenção dos estoques de carbono e pela manutenção de serviços ecossistêmicos por meio de desmatamento e a degradação florestal evitados.

⁸⁷ <https://econsa.com.br/metodologiapsacarbonflor/#:~:text=Metodologia%20%E2%80%93%20PSA%20Carbonflor%20A%20ECCON%20Solu%C3%A7%C3%B5es%20Ambientais,se%20adequem%20%C3%AO%20realidade%20dos%20propriet%C3%A-Irios%20conservacionistas%20brasileiros.>

A partir desse exemplo, o desafio está no desenvolvimento de algo semelhante à proposta da ECCON, como um “PSA Carbono+Água” - metodologia, que tenha fundamento científico respeitável para aferir, mensurar e valorar o efeito da área preservada na melhoria da qualidade e quantidade de água. Seja para agregar valor ao crédito de carbono, acrescentando valor à proposta do PSA Carbonflor, seja como uma mensuração/valoração independente, a fortalecer a cobrança pelo uso da água, em uma aplicação mais que adequada, conforme demonstrado no “Estudo sobre a Cobrança pelo Direito de Uso de Recursos Hídricos”, já mencionado

Conforme já mencionado, já foi proposta uma metodologia específica para o Programa Produtor de Água, promovido pela ANA, baseando-se na redução das taxas de perdas de solo por erosão hídrica nas áreas de conservação (CHAVES *et al*, 2004).

Como sugestão, um primeiro exercício, para uma investigação mais acurada, para dar valor (R\$) à ação (serviço ambiental) que provoca a sustentação ou o aumento do fluxo de base, a métrica mais indicativa poderia ser a vazão mínima incrementada em comparação com o preço unitário (R\$/m³) da cobrança pelo uso da água, em que pese serem valores ainda irrisórios e pouco significativos. Com os resultados obtidos a partir dos modelos sugeridos, com aumento de 1,40 L/s.km² na vazão de base, pode-se alcançar um incremento de 0,0014 m³/s na vazão para cada 1 km² (100 ha) de área conservada. Para um preço unitário de cobrança pelo uso da água de R\$ 0,67/m³ - valores de referência de 2016 - seria alcançado um benefício financeiro de R\$ 25.580,00/km².ano, ou cerca de R\$ 296, 00/ha.ano.

Outra métrica poderia ter base na redução das vazões de pico das enchentes, comparada com os custos de perdas e de recuperação das áreas urbanas atingidas por inundações.

Já com relação à Região Amazônica, a métrica pode estar na própria preservação das taxas de evapotranspiração real, que contribuem para a umidade da mEc, superado o paradoxo do aumento da vazão de base dos cursos de água nas grandes bacias hidrográficas, anteriormente mencionado.

De todo modo, no atual cenário, há ainda etapas preliminares para a correta métrica que precisam ser investigadas. Por exemplo, até o presente momento a maioria dos estudos de valoração das práticas conservacionistas no contexto da gestão dos recursos hídricos tem sido feita com base em cenários hipotéticos e comparativos. Faltam dados de monitoramento especificamente direcionados para o problema, para que as metodologias de valoração propostas possam ser validadas. De modo que, diante do promissor cenário desses mercados verde e azul, recomenda-se desde já a implantação de redes de monitoramento hidrométrico exclusivas para esse fim.

Vale aqui destacar que isso já vem sendo feito por empresas de mineração, que encontram dificuldades de manutenção dos seus equipamentos por conta de vandalismos. Isso retrata a necessidade de divulgação do conhecimento e de capacitação, junto à sociedade, desse valioso ativo ambiental relativamente às águas. Como parte da solução uma ação natural, a ser desenvolvida no âmbito do Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos, é a de cooperação entre associações de produtores rurais.

Certo que há desafios a superar, como o da definição de mecanismos seguros de valoração/monetização dos serviços ambientais relacionados à melhoria da disponibilidade hídrica, mensuráveis, reportáveis e verificáveis. Mas acreditamos na possibilidade de que o Sistema de Gestão de Recursos Hídricos, no exemplo do Programa Produtor de Água, sob a responsabilidade da ANA, trabalhe e desenvolva critérios e métodos mais avançados para que as atividades de proteção, conservação e recuperação de recursos hídricos avancem no reconhecimento e na monetização desses serviços, sendo assim devidamente remunerados.

■ 4.2.7 Conclusão

Acreditamos na Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais – PNPSA como uma oportunidade de se criar um viés de desenvolvimento dos pensamentos jurídico e econômico, em novas bases, para a sociedade do Século XXI. Nesse sentido, nos ensinam o Prof. Paulo Haddad⁸⁸ e a economista Kate Raworth⁸⁹, ao revelarem que o sistema econômico dominante está ultrapassado e não responde aos desafios desse século. Ambos propõem respostas para as crises financeiras permanentes, as desigualdades extremas e a pressão implacável sobre o meio ambiente, e que encontram abrigo no PSA. O PSA pode ser uma resposta como indicativo de um novo modelo econômico, de prosperidade, menos desigualdade e em equilíbrio com o planeta.

Fato é que, com a promulgação da Lei 14.119/2021, são inúmeras as possibilidades de benefícios para proprietários rurais, que podem ser remunerados por “cuidar” de suas reservas legais e áreas de preservação permanente, sendo dessa forma estimulados à regulação, assim como dos proprietários de Reserva Particular do Patrimônio Natural, RPPN, como as empresas mineradoras e sua ação conservacionista em suas Unidades de Conservação, com benefícios para a disponibilidade hídrica e para o bem-estar de todos. Na relação das mineradoras com as comunidades,

88 Haddad, Paulo R. Uma introdução à economia do século XXI . e-galáxia. Edição do Kindle.

89 Kate Raworth, professora do Instituto da Mudança Ambiental da Universidade de Oxford – Economia Dunot lançado em 2017 e traduzido no Brasil pela editora Zahar, 2019.

por exemplo, podemos mencionar a possibilidade de empresas induzirem e fomentarem programas de conservação aplicados aos produtores rurais. Nesse caminho, também a título de exemplo, as pastagens degradadas e as estradas rurais mal drenadas poderiam ser consideradas como as áreas-alvo preferenciais para a aplicação de práticas conservacionistas, devidamente remuneradas

De fato, a nosso sentir, com a definição e a estruturação do instituto de PSA, especialmente os serviços que tenham como resultado a melhoria da qualidade e da quantidade hídricas, alicerçados na utilização dos mecanismos de mercado, com segurança jurídica e equilíbrio social, é possível estimular um novo modelo de desenvolvimento para todo o Brasil, um dos países com características biológicas, físicas e ecossistêmicas mais adequadas para a geração riquezas de grandes proporções, a partir de uma opção econômica em bases sustentáveis e ainda apoiar as condições para uma segurança hídrica.

4.3 O programa produtor de água da ANA

- Consuelo Franco Marra⁹⁰
- Flavia Carneiro da Cunha Oliveira⁹¹
- Henrique Pinheiro Veiga⁹²
- Luís Augusto Preto⁹³
- Vera Maria da Costa Nascimento⁹⁴

O crescimento populacional e as crescentes exigências de consumo, devido ao contínuo desenvolvimento da humanidade, estão contribuindo para um aumento considerável na utilização dos recursos hídricos, em suas variadas aplicações, além de provocarem mudanças no uso e ocupação do solo, que resultam em um processo de degradação constante das bacias hidrográficas. Essa crescente demanda está colocando uma pressão significativa sobre as reservas de água disponíveis.

Além disso, é fundamental destacar que o ciclo hidrológico está diretamente ligado às condições climáticas. Portanto, mudanças no clima que alterem os padrões de chuva podem resultar em um aumento da frequência de eventos hidrológicos críticos. Tais eventos têm impactos diretos na oferta de água, aumentando a ameaça ao abastecimento de recursos hídricos para múltiplos usos.

As crises hídricas que têm assolado diversas regiões metropolitanas no Brasil não são apenas resultado das variações climáticas naturais, mas também são a convergência dos fatores já mencionados. Bacias hidrográficas comprometidas têm encontrado dificuldades em suprir as demandas por água. Isso acontece em um contexto no qual as mudanças ambientais globais estão introduzindo um nível de imprevisibilidade sem precedentes para os gestores.

90 Coordenadora de Conservação e Uso Sustentável da Água e Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. E-mail: consuelo.marra@ana.gov.br

91 Superintendente de Planos, Programas e Projetos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. E-mail: flavia.oliveira@ana.gov.br

92 Superintendente Adjunto de Planos, Programas e Projetos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. E-mail: henriqueveiga@ana.gov.br

93 Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. E-mail: luis.preto@ana.gov.br

94 Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. E-mail: luis.preto@ana.gov.br

A segurança hídrica, conforme o conceito da Organização das Nações Unidas (ONU), implica em garantir a disponibilidade adequada de água em termos de quantidade e qualidade para atender às necessidades humanas, atividades econômicas e manutenção dos ecossistemas aquáticos. Essa garantia deve estar acompanhada de um nível aceitável de risco associado a eventos hidrológicos extremos. É importante considerar as quatro dimensões da segurança hídrica: humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência, como orientadoras do planejamento para oferta e uso de água em um país (PNSH, 2019).

Para concretizar a segurança hídrica, é fundamental adotar uma abordagem sistêmica, integrando a infraestrutura convencional (cinza) com soluções baseadas na natureza (SBN), ao mesmo tempo em que se aprimora constantemente a gestão dos recursos hídricos, incluindo planejamento, controle do uso da água, monitoramento, operações e manutenção de sistemas hídricos, entre outros aspectos. Adicionalmente, é crucial incorporar estratégias de gestão de riscos, considerando a vulnerabilidade do ambiente a eventos extremos e propondo medidas para reduzir impactos e aumentar a resiliência das bacias hidrográficas.

O Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), lançado em 2019, buscou preencher uma lacuna no planejamento da infraestrutura hídrica estratégica em todo o país. Isso foi concretizado por meio de uma análise detalhada dos níveis de segurança hídrica em todo o território, usando o Índice de Segurança Hídrica (ISH) que incorpora as quatro dimensões da segurança hídrica e o conceito de risco relacionado ao uso da água.

O ISH foi desenvolvido de maneira integrada e padronizada para facilitar a comunicação e permitir comparações entre diferentes regiões (bacias hidrográficas, estados, municípios, etc.). As dimensões humana e econômica permitem avaliar déficits no atendimento das demandas humanas e do setor produtivo, enquanto as dimensões ecossistêmica e de resiliência ajudam a identificar áreas críticas e vulneráveis.

A identificação dessas áreas críticas abre oportunidades para a integração da infraestrutura convencional com Soluções Baseadas na Natureza (SBN), que empregam processos naturais para melhorar a disponibilidade e qualidade da água, bem como para reduzir riscos relacionados a eventos extremos. Historicamente, a abordagem para a segurança hídrica tem se concentrado principalmente na infraestrutura convencional, subestimando o potencial das SBN (WWAP, 2018).

As Soluções Baseadas na Natureza incluem a infraestrutura verde, que envolve ecossistemas naturais ou seminaturais que fornecem serviços

ecossistêmicos relacionados à água, complementando ou substituindo funções da infraestrutura convencional (UNEP, 2014).

A implementação de soluções baseadas apenas na infraestrutura convencional, como reservatórios e canais, torna-se ineficaz caso não sejam garantidas as condições de oferta de água, em termos de qualidade e quantidade. Nesse sentido, a gestão adequada do espaço rural, com a implementação de práticas de conservação de água, solo e de Soluções Baseadas na Natureza são cruciais para alcançar a segurança hídrica.

Ações de conservação e restauração florestal, e o desenvolvimento de atividades agrícolas em bases sustentáveis, com a adoção de medidas de conservação de água e solo são os principais elementos de proteção e recuperação da infraestrutura verde de uma bacia. Idealmente, essas ações devem estar inseridas num sistema de pagamentos por serviços ambientais (PSA), de forma a obter a participação ativa dos produtores rurais e garantir a sustentabilidade das ações no longo prazo.

Nesse contexto, é incumbência da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a entidade responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), adotar medidas para reforçar a segurança hídrica do país e sua capacidade de adaptação diante de um cenário cada vez mais desafiador. Tal atuação ocorre em conjunto com órgãos gestores estaduais e os comitês de bacias hidrográficas, promovendo também a participação ativa dos usuários e da sociedade em geral.

Dentre as várias ações implementadas pela ANA para contribuir com a segurança hídrica, destaca-se o Programa Produtor de Água (PPA), criado em 2001. O Programa atua por meio do desenvolvimento de projetos locais, cuja metodologia e abordagem induzem a adoção de práticas de conservação de água e solo no meio rural e incentivam o pagamento aos produtores rurais pelos serviços ambientais prestados na implementação de tais práticas em suas propriedades. O PPA estimula e fomenta a criação de projetos locais e regionais, cuja gestão se dá pela formação de parcerias que englobam diversas entidades públicas, privadas, usuários de água, organizações de pesquisa, ONGs, e com a participação ativa, dos agricultores, que são o público central. Além disso, o programa incentiva a estruturação de arranjos para o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), contribuindo para estimular os agricultores na adoção e na manutenção das práticas implementadas.

O PPA possui como principais objetivos: a) melhoria da qualidade da água, por meio da utilização de práticas que promovam a redução da erosão e da sedimentação; b) aumento da oferta de água, por meio do aumento da infiltração de água no solo e consequente “produção” de água durante

as estações secas; e c) conscientização dos produtores rurais e usuários de água sobre a importância da gestão integrada da bacia hidrográfica, considerando a inter-relação do solo, água e da vegetação e demais condições socioambientais.

As bases do Programa Produtor de Água estão ligadas ao arcabouço legal. Elas começam com a Constituição Federal, que estabelece o dever de preservar o equilíbrio ecológico para as gerações presentes e futuras; a Política Nacional de Meio Ambiente e regulamentações relacionadas, que buscam produção sustentável e conservação de recursos naturais; e, especialmente, as premissas estabelecidas na Lei n 9.433/1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), com destaque para:

1. gestão compartilhada e descentralizada dos recursos hídricos, envolvendo diversos atores, responsabilidades e ação coletiva;
2. diretrizes que integram a gestão ambiental e do uso do solo com a gestão de recursos hídricos; e
3. instrumentos de gestão, incluindo a aplicação dos recursos provenientes da cobrança pelo uso de recursos hídricos, planos de recursos hídricos e diretrizes de enquadramento.

Dentro desse contexto e alinhado com as metas e objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, o PPA orienta a formulação de projetos que devem seguir as seguintes orientações:

- estabelecimento de uma estrutura institucional de governança do projeto, definindo as atribuições e responsabilidades de todas as partes envolvidas;
- colaboração de esforços e recursos das instituições que atuam ou têm interesse na região;
- implementação de práticas de conservação de água e solo em atividades agrícolas produtivas;
- implementação de práticas de conservação de água e solo em estradas rurais;
- preservação e recuperação de vegetação nativa; e
- remuneração aos produtores rurais por serviços ambientais (pagamento pelos serviços ambientais prestados).

O Programa Produtor de Água (PPA) tem apoiado projetos de revitalização de bacias, desde 2005, como o projeto Conservador das Águas em Extrema - Minas Gerais⁹⁵. Trata-se de uma estratégia para o estabelecimento de metodologia para a promoção de projetos locais com o foco no manejo integrado de microbacias, integrando no território a rede de instituições e o conjunto de iniciativas, potencializando, assim, esforços e investimentos. O Programa foi considerado inovador à época, pois não havia, até então, qualquer iniciativa ou política ambiental que se utilizasse de pagamentos por serviços ambientais no Brasil.

Entre 2006 e 2023, a ANA aportou, aproximadamente, 45 milhões de reais em cerca de 74 projetos (Figura 80), dentre os quais 30 contam com contratos de pagamento por serviços ambientais a produtores rurais por períodos não inferiores a 5 anos.

Os resultados alcançados com estas estratégias beneficiam direta ou indiretamente aproximadamente 18 milhões de pessoas, abrangendo 13 estados e o Distrito Federal, 78 municípios e 9 regiões metropolitanas. Até o momento, são 710 mil hectares beneficiados com ações do Programa, além de 1.000 produtores contemplados com pagamentos por serviços ambientais. Destaca-se ainda a edição de cerca de 40 legislações municipais institucionalizando os projetos associados ao PSA.

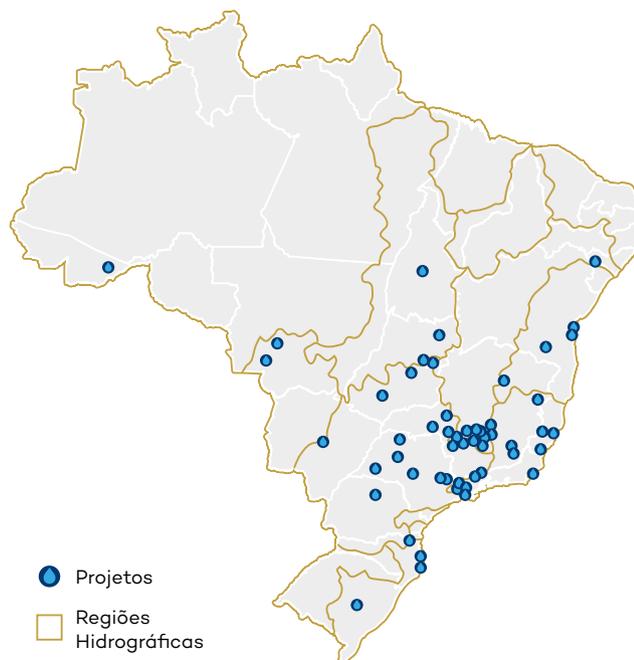


Figura 80: Distribuição dos projetos apoiados no âmbito do Programa Produtor de Água.

⁹⁵ <https://www.extrema.mg.gov.br/conservadorasaguas/>

Portanto, a estrutura institucional estabelecida para cada projeto gera um poder de ação colaborativa concentrado na bacia hidrográfica de interesse, além de aumentar a participação dos produtores rurais na gestão sustentável de suas propriedades e na gestão da água na bacia hidrográfica. A rede de instituições formada para cada projeto facilita uma maior cooperação e interação entre usuários de água, gestores e outras entidades presentes na área, o que permite uma resposta mais rápida e coordenada em situações de crise e conflito, contribuindo para a resiliência da bacia.

Nesse contexto, destaca-se o Projeto Perobas, desenvolvido no município de Doresópolis-MG. A Unidade de Gestão do Projeto Perobas conta com a importante participação da Lhoist, empresa do setor de mineração, que tem atuado de forma ativa e apoiado a implementação do projeto. Sua participação tem contribuído sobremaneira para institucionalização da iniciativa na região, bem como na divulgação, apoio e implementação de ações de conservação de água e solo e, sobretudo, na manutenção das demais intervenções realizadas com os recursos aportados por outros parceiros. Trata-se de um caso concreto onde a atuação concertada de instituições potencializam os esforços em busca da segurança hídrica, nesse caso, com a participação direta de uma empresa do setor de mineração.

Do ponto de vista técnico, a concepção do Programa Produtor de Água foi desenvolvida com a meta de promover a sustentabilidade na utilização dos recursos hídricos, concentrando-se na gestão do uso e ocupação do território das bacias hidrográficas localizadas a montante.

Os padrões de uso e ocupação do solo desempenham um papel significativo na fase terrestre do ciclo hidrológico (interceptação, escoamento e infiltração) e na distribuição da vazão de um rio ao longo do ano. No âmbito do manejo hidrológico, o objetivo do PPA é transformar o escoamento superficial em escoamento subterrâneo, armazenando água nos solos. Para alcançar essa meta, as práticas de conservação buscam aprimorar a cobertura vegetal, enquanto as estruturas físicas visam minimizar o escoamento superficial e favorecer a infiltração. Paralelamente, procura-se reduzir a perda de solo devido à erosão. Para que isso seja efetivo, é crucial considerar a capacidade de infiltração, os tipos de solo, a topografia, os ecossistemas de referência, as variações na precipitação e outras características específicas de cada bacia hidrográfica. Sob a orientação técnica apropriada, são realizadas ações para melhorar a cobertura vegetal, tanto em áreas naturais quanto em áreas de uso alternativo, combinadas com a implementação de estruturas físicas, como terraços, barraginhas (bacias de contenção de sedimentos) e a adequação de estradas rurais.

A presença da vegetação tem o propósito de proteger a superfície do solo contra o impacto das gotas de chuva. Já os terraços e barraginhas têm o

em manter ou aumentar sua disponibilidade hídrica. Assim, produtores rurais ou instituições interessadas em participar do Programa Produtor de Água devem verificar se sua bacia hidrográfica está contemplada por algum projeto.

Com a edição da Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que instituiu a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais, as receitas oriundas da cobrança pelo uso dos recursos hídricos de que trata a PNRH poderão ser destinadas a ações de pagamento por serviços ambientais que promovam a conservação e a melhoria da quantidade e da qualidade de água, devendo ser aplicadas conforme decisão dos comitês de bacias hidrográficas. Este dispositivo abre uma oportunidade para a ampliação da estratégia de atuação do Programa Produtor de Água, com a possibilidade de ganho de escala e alcance de suas ações e maior integração com os comitês de bacias e órgão gestores estaduais, que são atores essenciais nesse processo.

O Programa Produtor de Água está em constante expansão e o interesse de proprietários rurais em conservar nascentes e outras áreas prioritárias para produção de água é fator altamente relevante na abertura de novos projetos. Destaca-se que as diretrizes do Programa foram atualizadas recentemente por meio da Resolução ANA nº 180º, de 18 de janeiro de 2024, em que foram estabelecidas a estratégia de atuação da ANA e suas metas. Ademais, foi instituído por meio da Portaria ANA nº 181/2024, o reconhecimento de projetos e iniciativas de conservação de água que estejam alinhadas às diretrizes do Programa. Ambas as resoluções visam o fortalecimento e aumento de escala do Produtor de Água.

A conservação dos recursos hídricos no meio rural é a abordagem central do Programa Produtor de Água para contribuir com a segurança hídrica. Seus projetos, espalhados pelo Brasil, disseminam práticas conservacionistas, contribuindo para melhorar serviços ecossistêmicos e a resiliência local diante de eventos hidrológicos críticos. As empresas do setor de mineração podem se engajar em projetos do Programa Produtor de Água que já estejam em execução, ou mobilizar uma rede parceiros (municípios, CBHs e demais usuários de água) na estruturação de novos projetos.

Para mais informações, acesse o site: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua>.



Vale do Capão, Chapada Diamantina, Bahia
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

5

DESAFIOS CONSEQUENTES DA VULNERABILIDADE CLIMÁTICA





Cheia no rio Samburá, Bambuí, Minas Gerais.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

5.1 Desafios da gestão de recursos hídricos frente à mudança do clima e à vulnerabilidade climática e sua interface com a mineração

- Saulo Aires de Souza⁹⁷

Os recursos hídricos estão fortemente conectados com o desenvolvimento econômico, social e ambiental dos países. O planejamento e a gestão de recursos hídricos possibilitam aproveitar a hidrologia dessas nações, muitas vezes com alta variabilidade e de caráter destrutivo, em benefícios confiáveis e socialmente desejados. Com o avanço das sociedades modernas, houve um aumento das necessidades por recursos hídricos, tornando os sistemas hídricos cada vez mais complexos. Para lidar com essas complexidades, os procedimentos técnicos, analíticos e de governança para a gestão hídrica evoluíram para acompanhar as crescentes demandas da sociedade. Mais recentemente, há uma necessidade por uma gestão ainda mais complexa tendo em vista as incertezas associadas à mudança climática (ANA, 2023).

A mineração (ou indústria extrativa mineral) abrange os processos de extração de substâncias minerais. O Brasil está dentre os maiores produtores mundiais de diversas substâncias, tais como minério de ferro (3º no ranking), bauxita e alumina (3º), nióbio (1º) e fosfato (5º).

As operações de mineração precisam de água para transformar minérios em minerais separados, bem como para lavar ou transportar materiais, perfurar, controlar poeira, resfriar máquinas, inundar minas, executar adequadamente o fechamento de minas e apoiar as necessidades dos trabalhadores (Timlick *et al.*, 2022).

De acordo com o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019), a mineração demanda volumes expressivos de água, representando nacionalmente 1,6% da retirada. O volume de retirada é equivalente ao abastecimento de toda a população rural brasileira, sendo que a mineração se caracteriza pela forte concentração no território, notadamente em alguns municípios de Minas Gerais e do Pará.

⁹⁷ Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Coordenador de Mudanças Climáticas. E-mail: saulo.souza@ana.gov.br

Como grandes números do uso da água para atendimento à mineração obtidos do manual de uso consuntivo, a Figura 81 ilustra a variação das vazões de retirada nas unidades federativas. Além da destacada liderança de Minas Gerais (53%) e do Pará (28% do total), nota-se maior demanda nos estados do Sul e em São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Bahia. A Figura 82 apresenta os respectivos percentuais relativos de retirada por Região.

Atualmente, as demandas dos estados de Minas Gerais e Pará respondem por mais de 85% da retirada, totalizando 26,6 m³/s. O total extraído pelo setor foi de 32,9 m³/s em 2017. No gráfico (Figura 81), observa-se que ocorreu incremento significativo nas vazões de retirada a partir da década de 1970. A demanda dobrou entre 1970 e 1980 e quadriplicou entre 1980 e a atualidade. A queda recente observada em 2009 foi devida à crise econômica global vivenciada no período, com impactos significativos no mercado internacional de minério de ferro. As projeções futuras indicam um crescimento de até 75% das vazões para a extração mineral, alcançando 55 m³/s em 2030.

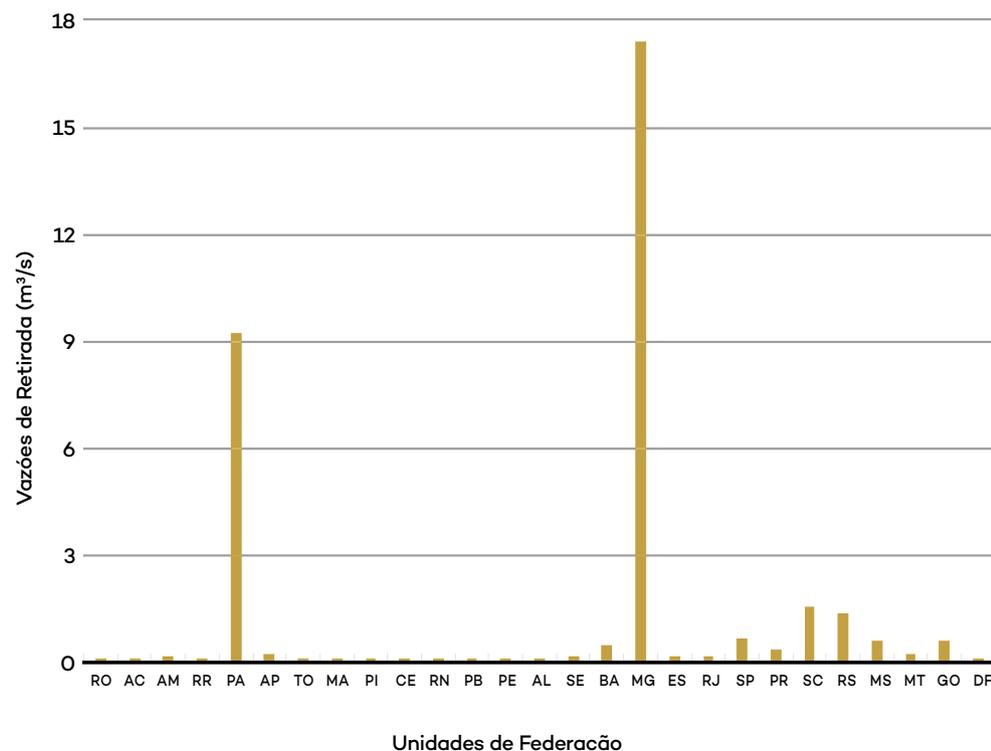


Figura 81: Vazões de retirada (m³/s) para o setor mineração nas unidades federativas. Fonte: Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, ANA, 2019.

Retirada Mineração

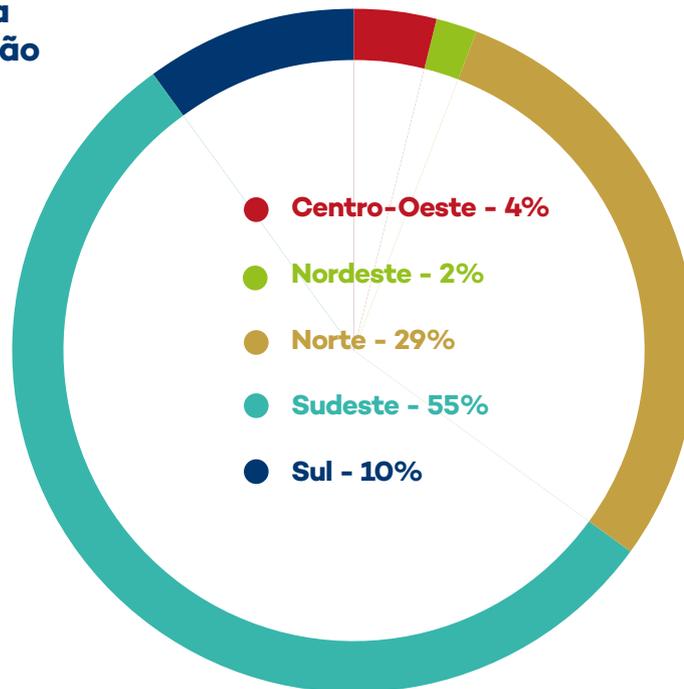


Figura 82: Percentuais de retirada de água (mineração), por região, em relação à retirada total. Fonte: Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, ANA, 2019.

Nas últimas décadas, a mudança global do clima tornou-se um tópico de grande visibilidade pública e passou a ocupar um espaço considerável nas agendas ambientais, políticas e sociais em todo o mundo. A maior expressão desse crescimento e articulação foi a formação, em 1988, do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Os sucessivos relatórios produzidos por esse painel têm reafirmado o aumento da temperatura global devido às emissões antropogênicas de carbono e alertado para os riscos dessa mudança. Também a partir dos resultados preocupantes constantes nesses relatórios, as nações têm buscado realizar negociações e acordos, como as da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), que orientam principalmente os gastos públicos e as tomadas de decisão nos mais diferentes setores da sociedade que poderão ser impactados (IPCC, 2014).

De acordo com o IPCC (2013), a mudança do clima corresponde às variações significativas no estado médio do clima ou em sua variabilidade, persistindo por um período extenso. As mudanças climáticas podem acontecer devido a processos naturais (internos ou externos) ou antropogênicos; isto é, mudanças causadas pelo ser humano, ou até mesmo pelo efeito somado de ambos os processos. Segundo o próprio IPCC, a mudança do

clima está alterando significativamente o ciclo hidrológico, adicionando uma incerteza significativa aos recursos hídricos em muitas regiões do planeta tanto no presente, mas principalmente no futuro.

A incerteza não é algo novo para os tomadores de decisão na área de recursos hídricos: efeitos tanto da variabilidade climática como de mudanças antrópicas no padrão de uso e ocupação do solo sempre impuseram aos gestores a necessidade de incorporar diferentes tipos de incerteza no planejamento de recursos hídricos. No entanto, a mudança climática adiciona uma incerteza ainda maior associada à incapacidade de prever a evolução futura tanto dos processos hidrometeorológicos como da própria sociedade que é impactada nos seus padrões de preferência e consumo.

No planejamento de recursos hídricos, busca-se planejar e projetar para as incertezas do tipo “sabemos o que não sabemos” – ou seja, visões tradicionais de risco e incerteza – geralmente adicionando margens de segurança às variáveis utilizadas nos projetos e ações de recursos hídricos. Nesse caso, a compreensão do que seria o futuro desconhecido é informada pelo que aconteceu no passado (estacionariedade), incluindo eventos catastróficos e suas conhecidas consequências socioeconômicas e ambientais. Atualmente, com as enormes incertezas oriundas da taxa, sem precedentes, do crescimento econômico global e com a perspectiva de mudança climática, emerge uma nova necessidade em planejar e projetar o futuro agora voltadas para o tipo “não sabemos o que não sabemos”. Assim, em contextos complexos e altamente incertos, tais como esses envolvidos em muitas decisões relacionadas à mudança climática, as condições necessárias para a aplicação da análise de risco e incerteza tradicional se tornam praticamente inviáveis (Salas *et al.*, 2018; Mendoza *et al.*, 2018).

Devido à ampla distribuição geográfica das operações do setor de mineração no planeta, a mudança climática, como a mudança na temperatura e precipitação, bem como o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, terá impactos complexos e desafiadores para o setor (ICMM, 2021; Nelson, 2024). Essa complexidade exigirá o desenvolvimento de novas ferramentas e estudos por parte da comunidade de recursos hídricos (planejadores, gestores, acadêmicos etc.) e que deverão ser incorporados pelo setor de mineração. O foco dessa nova gestão deve ser voltado agora para um novo mundo de incertezas a serem enfrentadas no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. É nesse contexto que a gestão de recursos hídricos no setor de mineração deve se inserir. É fundamental nesse processo buscar avaliar os impactos da mudança climática nos recursos hídricos e sua interface com o setor de mineração a partir de futuros hidroclimatológicos incertos. Para isso, deve-se incorporar uma visão em que se reconhece a incerteza advinda da impossibilidade estrutural de se prever de forma determinística o futuro e de controlá-lo, incerteza

esta que pode ser traduzida em cenários que informam futuros potenciais (críveis-verossímeis com o conhecimento atual).

Essa impossibilidade de se controlar a realidade demandará estratégia de adaptação do setor de mineração que proporcione ao seu sistema de recursos hídricos flexibilidade para operar de forma persistente (eficaz) nos diferentes futuros potenciais alternativos constituindo em uma estratégia robusta. Nesse sentido, estudos de impacto da mudança climática nos recursos hídricos dentro do setor de mineração é uma importante ferramenta que pode ajudar o setor a navegar por um mundo incerto em direção a soluções provavelmente imperfeitas, mas robustas e socialmente aceitáveis.

A mudança climática tem potencial de afetar a estabilidade e eficácia das infraestruturas e equipamentos do setor de mineração, podendo implicar também em uma maior dificuldade do setor na sua estratégia de proteção ambiental e nas práticas de descomissionamento. Outro potencial impacto está associado a problemas com disponibilidade de rotas de transporte dos produtos de mineração. Por fim, a mudança climática terá impacto na estabilidade e no custo do abastecimento de água e energia do setor. O eventual aumento da escassez hídrica devido à mudança climática nas regiões de mineração poderá inibir as operações dependentes de água e colocar as empresas em conflito direto com outros usuários de recursos hídricos.

Embora sujeitas a incertezas, as projeções de mudança climática oferecem um vislumbre de possíveis impactos e desafios futuros sobre os recursos hídricos no Brasil. Os impactos projetados variam de acordo com a região do Brasil, mas no geral concordam com aumentos na temperatura e evapotranspiração. A escassez hídrica, que atualmente resulta em perdas econômicas e sociais significativas, pode ser mais comum em muitas regiões no Brasil. Essas perdas econômicas, que ocorrem em vários setores, como a mineração, têm efeitos profundos nas comunidades locais. Déficits mais frequentes, como os que esse estudo pretende apresentar, implicarão em aumento de custos para a sociedade, necessitando de estratégias de adaptação por parte dos usuários de água para mitigar parte desses custos.

Dependendo da região, as alterações climáticas terão efeitos muito diferentes nas águas do Brasil. De um modo geral, temperaturas mais altas intensificam substancialmente o ciclo hidrológico. Assim, as principais consequências da mudança climática relacionadas aos recursos hídricos estão associadas aos aumentos da evapotranspiração (devido ao aumento da temperatura), mudanças nos padrões de precipitação, e um provável aumento na frequência de inundações e secas. Além disso, essas mudanças desafiam a premissa de estacionariedade do padrão hidrometeorológico vigente. Tal premissa, atualmente, é fundamental no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

A avaliação dos impactos da mudança climática nos recursos hídricos no Brasil vem sendo efetuada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), de forma estratégica, desde a sua criação. A questão do risco climático está presente nos mais diferentes estudos e ações da Agência, o objetivo central de considerar e gerir esse risco climático é identificar, avaliar e desenvolver estratégias de respostas a eventuais impactos no setor de recursos hídricos. Para avaliar os impactos setoriais específicos, como é o caso da mineração, deve-se identificar regiões de interesse do setor que estão ou estarão pressionadas em termos de uso de recursos hídricos no geral, principalmente o potencial de eventuais conflitos com outros setores usuários de recursos hídricos.

Um dos estudos fundamentais no processo de avaliação do impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil envolve a detecção de eventuais mudanças nas séries hidrológicas oriundas do monitoramento sistemático da rede hidrológica nacional (RHN). Em Souza (2022) foram avaliadas evidências de mudanças nos índices de extremos de vazão em todo o Brasil. Esse estudo compreendeu o maior número de estações hidrológicas até então já utilizado para fins de análise de tendência no Brasil. De forma inédita no Brasil, o estudo realizou, em escala nacional, uma avaliação conjunta das questões de autocorrelação e multiplicidade de testes, incluindo novas abordagens e as técnicas mais avançadas para lidar com essas questões fundamentais. Por abranger todo o território brasileiro, ele foi realizado considerando as 12 diferentes regiões hidrográficas existentes no Brasil; Amazônica (AMZ), Parnaíba (PNB), Atlântico Nordeste Ocidental (ANC), Paraguai (PRG), Atlântico Sudeste (ASD), Tocantins-Araguaia (TOA), Atlântico Sul (ATS), Atlântico Nordeste Oriental (ANO), Uruguai (URU), São Francisco (SFR), Paraná (PRN) e Atlântico Leste (ALE).

A Figura 83 e 84 apresentam 4 gráficos do tipo “stacked bar” e 4 mapas com os resultados do teste Mann Kendall (MK) para os índices Qmin7day (1a, mínima vazão anual registrada em 7 dias consecutivos), Qmed (1b, vazão média anual), QX1day (1c, máxima vazão anual registrada de 1 dia) e QX30day (1d, máxima vazão anual registrada de 30 dias), divididos por cada uma das 12 regiões hidrográficas. Nos gráficos da Figura 83 são apresentados os percentuais de estações subdivididos em 3 categorias: resultados significativos crescentes (azul), decrescentes (vermelho) e o resultados não significativos (cinza). Nos rótulos das barras são apresentados os números absolutos de estações em cada categoria. Nos mapas da Figura 84 são utilizadas uma simbologia para representar os resultados considerando tanto o tamanho da série (tipo de símbolo) como a magnitude da mudança (tipo de cor). Cores quentes representam tendências decrescentes e cores frias as crescentes. Os círculos pequenos e preto representam os resultados não significativos. A análise dos gráficos e ma-

pas mostram que, de um modo geral, existe um padrão regional no sentido da mudança, independentemente do espectro da magnitude da vazão.

Observa-se uma predominância de tendências decrescentes significativas nas regiões hidrográficas localizadas mais ao N e NE, como as regiões do SFR, ANO, PNB, ANC, TOA e ALE. Os percentuais de rejeição ultrapassam, em algumas regiões como SFR e PNB, os 30% de resultados significativos decrescentes nos índices associados às vazões mais baixas. Já tendências crescentes predominam nas regiões hidrográficas AMZ, PRN, ATS e URU. Nas regiões ATS e URU, os resultados significativos ultrapassam 20% nos índices Qmin7day e Qmed. A região hidrográfica do ASD não apresenta um padrão muito claro no sentido da tendência, havendo uma leve preponderância de tendências decrescentes nas vazões mínimas e de tendências crescentes nas vazões máximas. Na região hidrográfica do PRG praticamente não foram detectadas mudanças significativas, mas as poucas identificadas foram no sentido crescente.

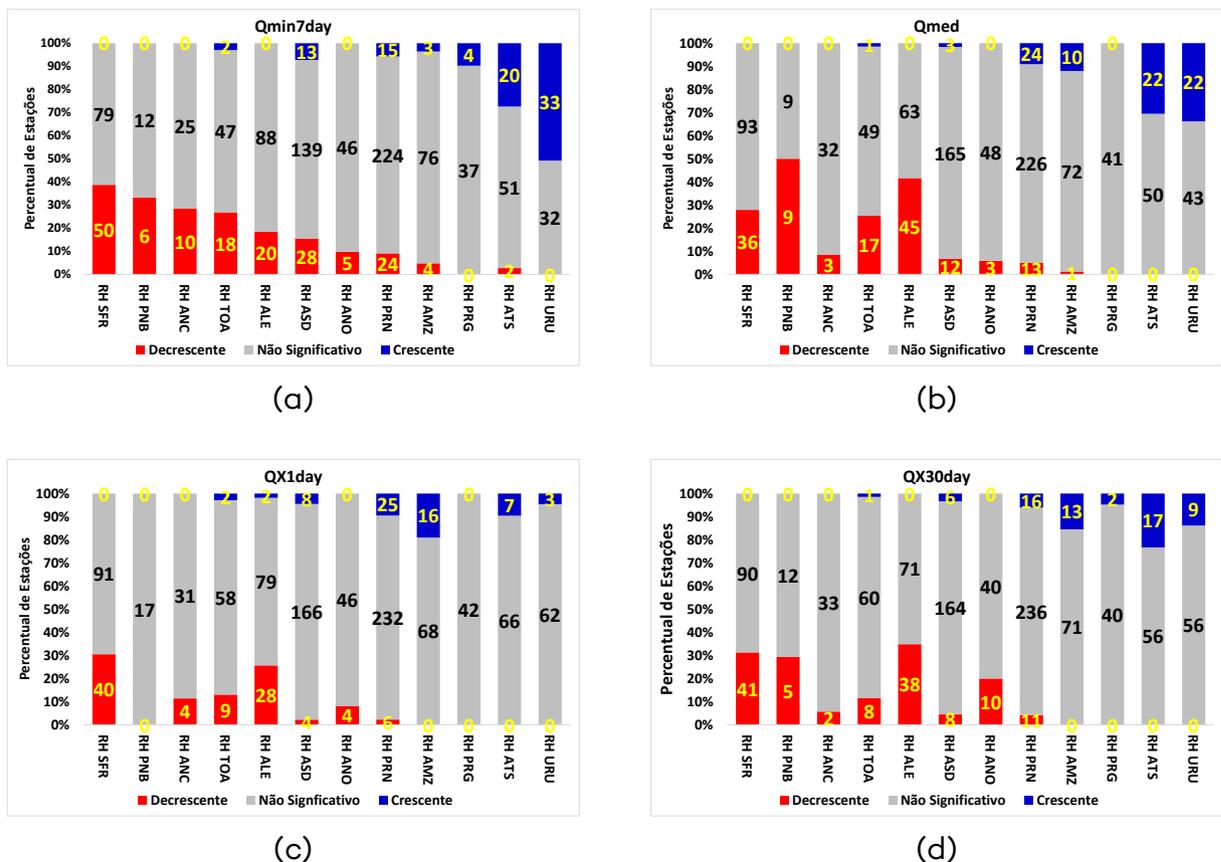


Figura 83: Gráficos do tipo “stacked bar” com os resultados do teste MK para os índices Qmin7day, Qmed, QX1day e QX30day, divididos por regiões hidrográficas.

Fonte: Souza, 2022.

Com relação a projeções futuras do clima, a avaliação dos impactos da mudança climática na disponibilidade hídrica do Brasil foi realizada pela ANA no âmbito da atualização do Plano Nacional de Recursos Hídricos em 2022 (ANA, 2021a) a partir de profundas análises nos resultados oriundos da modelagem climática e das projeções dos Modelos Climáticos Globais

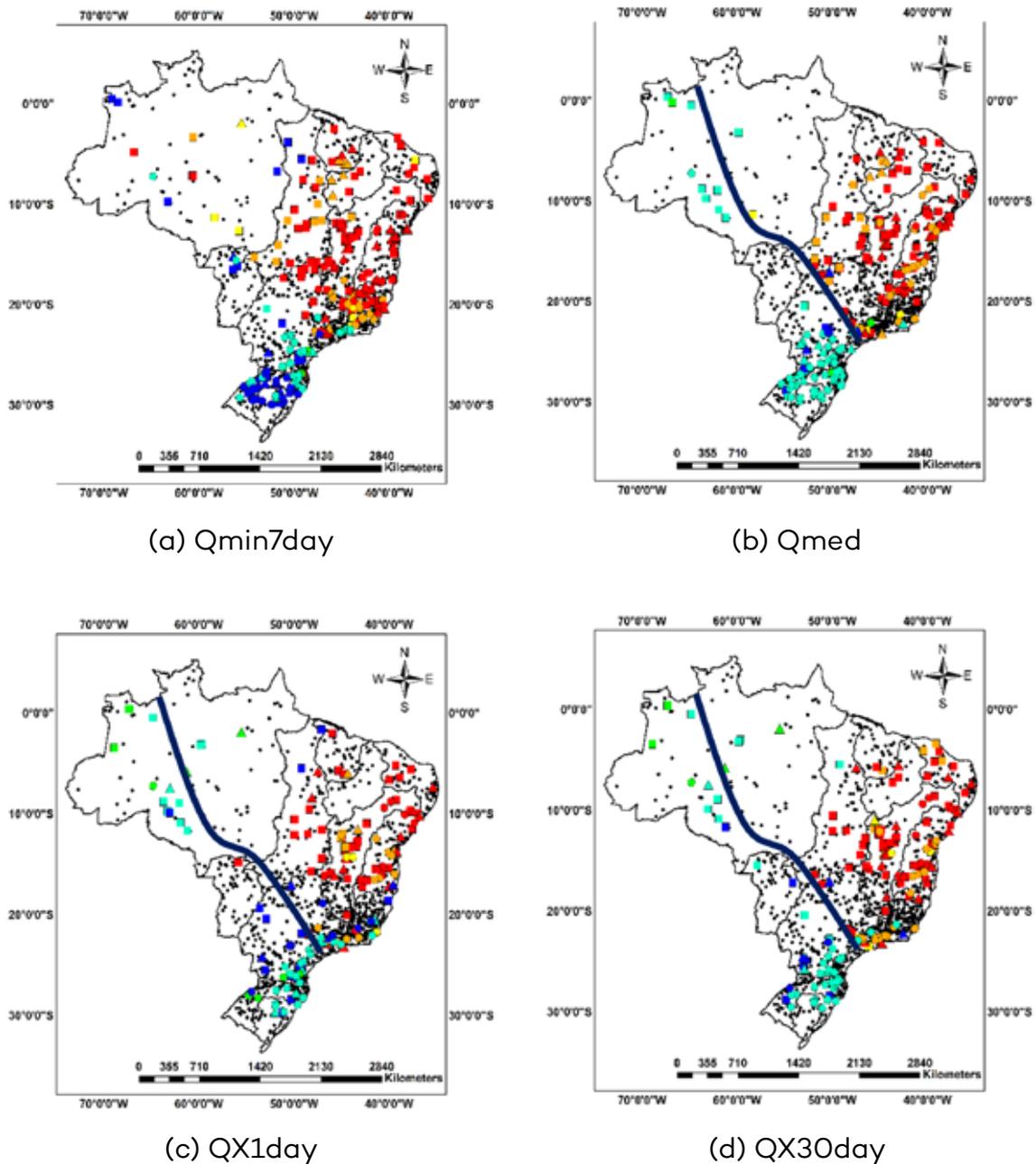


Figura 84: Mapas contendo os resultados do teste de tendência MK para os índices Qmin7day (5a), Qmed (5b), QX1day (5c) e QX30day (5d).

Fonte: Souza, 2022.

(MCG) utilizados pelo IPCC. Essas análises consideraram a capacidade dos MCGs em representar o clima presente, indicando os cenários mais representativos em projetar futuros plausíveis do clima até 2040. Esses cenários representativos e plausíveis do clima foram dimensionados para alimentar um modelo hidrológico baseado nas hipóteses de Budyko e estimar alterações na vazão média e na disponibilidade hídrica (ANA, 2021a, ANA, 2023).

As Figuras 88 e 89 ilustram os resultados do impacto da mudança climática na demanda e na oferta hídrica do Brasil, respectivamente, para um cenário potencialmente crítico, com aumento na demanda de irrigação (maior uso de água no Brasil), e redução na disponibilidade hídrica em parte do país. Observa-se que o aumento da demanda de irrigação ocorre em praticamente todas as áreas consideradas irrigáveis em 2040, observando-se valores superiores a 50% na Unidade de Gestão de Recursos Hídricos (UGRH) Paranapanema, por exemplo. Embora a análise de impacto na demanda por água tenha sido feita apenas para a demanda da irrigação, é importante para o setor de mineração compreender como será a dinâmica do maior usuário de água principalmente na sua definição de estratégia de redução de conflito por recursos hídricos.

Já a redução na disponibilidade hídrica, nesse cenário, aparece notadamente nas regiões Norte e Nordeste, enquanto parte do Sul e Sudeste tendem para um aumento de vazão. Observa-se que o padrão de mudança observado nesse cenário de mudança climática converge com o padrão de mudança que já estamos observando nas vazões médias e mínimas atualmente, conforme apresentado nas Figuras 86 e 87. Essas avaliações, aliadas aos sinais de aumento da variabilidade no padrão de chuvas e a não convergência dos MCGs sobre os efeitos das mudanças em certas regiões do Brasil, como o Sudeste, indicam o possível comprometimento da segurança hídrica do País, sendo necessária a definição de estratégias de adaptação que mitiguem de forma adequada os potenciais impactos sobre os setores usuários de água no Brasil.

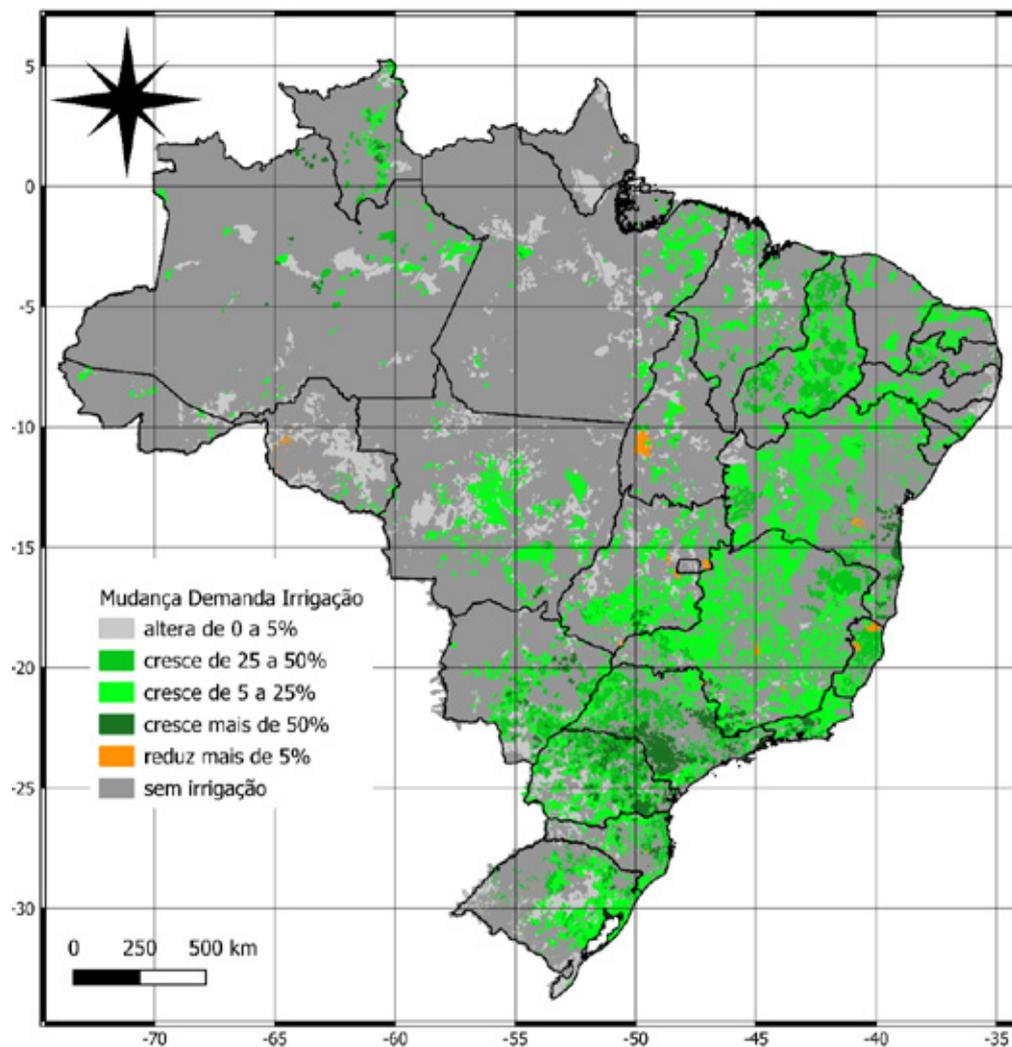


Figura 85: Impacto da mudança climática nas demandas hídricas para um cenário crítico no Brasil em 2040.

Com base nos resultados apresentados nas Figuras 85 e 86 e considerando a necessidade de planejamento de curto e longo prazos, foi construído um cenário de balanço hídrico (Figura 87). O balanço hídrico se apresenta como uma ferramenta de gestão capaz de identificar pressões e potenciais conflitos que podem incidir sobre os recursos hídricos diante de diferentes cenários. É, portanto, um elemento fundamental para orientar a gestão e o planejamento nas bacias hidrográficas brasileiras, visando garantir a segurança hídrica. O balanço hídrico quantitativo é um indicador do nível de comprometimento hídrico. Seu papel é identificar quanto da disponibilidade hídrica está sendo utilizada para atendimento de usos consuntivos. Isso é dado pela razão entre a demanda e a oferta e é apresentado em termos de percentuais de comprometimento.

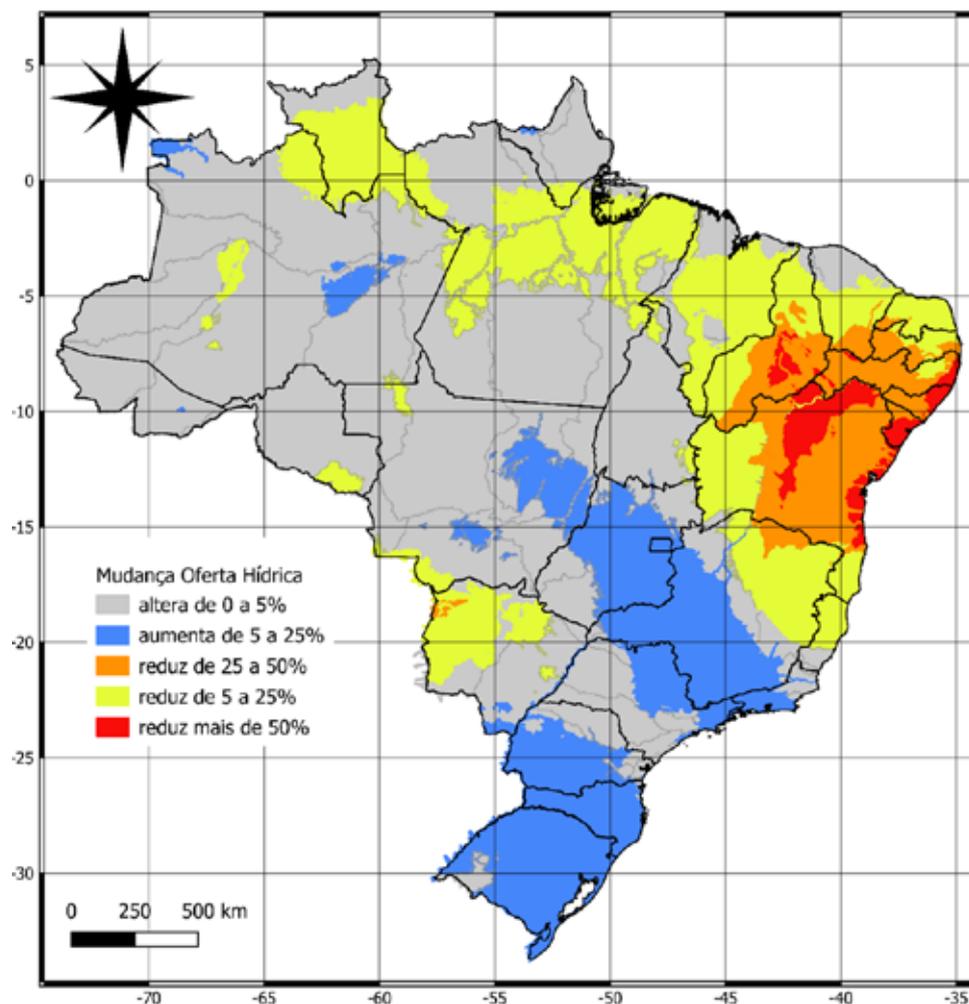


Figura 86: Impacto da mudança climática na oferta hídrica para um cenário crítico no Brasil em 2040.

O balanço hídrico da Figura 87 foi realizado por trecho de rio, classificando-se o nível de comprometimento hídrico dos trechos em: baixo (abaixo de 5%), mediano (5% a 30%), alto (30% a 70%), muito alto (70% a 100%), crítico (acima de 100%) e intermitente (oferta nula). Observa-se que os comprometimentos mais elevados aparecem prioritariamente na porção leste do país, o que coincide com a maior concentração populacional e consequente demanda por água. No Semiárido, dada a baixa garantia de oferta nos rios, a maior parte do território encontra-se na classe intermitente, havendo resultado de balanço nos reservatórios e trechos perenizados. Quando comparado com o balanço hídrico presente, observa-se, em todas as regiões, uma migração dos trechos para classes de maior comprometimento hídrico, com nítida

ampliação do nível crítico nas UF's com forte preponderância do setor de mineração. A Figura 88 ilustra o percentual de aumento ou "piora" nos níveis de escassez hídrica entre o ano de 2020 e 2040 considerando o cenário de mudança climática nas 7 principais unidades federativas para o setor de mineração sob ótica dos recursos hídricos. Observa-se nitidamente uma piora significativa no número de trechos de rio em termos de escassez hídrica em todos os 7 estados. Os números mostram ampliação de quase 150% em termos trechos críticos no estado de São Paulo; e em Minas Gerais, temos uma piora de mais de 50% em todos os níveis de escassez hídrica, indicando uma possível ampliação dos conflitos por recursos hídricos. Esse cenário com mudança climática se mostra, em geral, amplificador das condições de criticidade hídrica já observadas no presente.

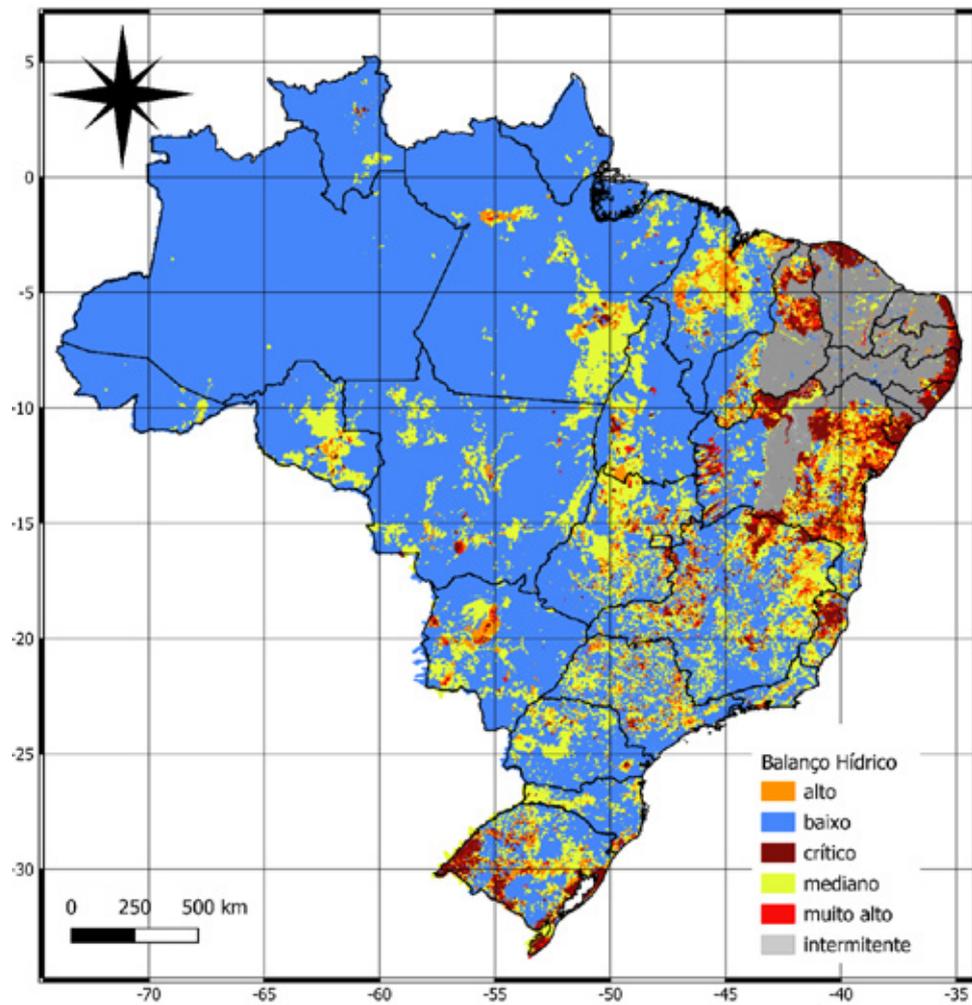


Figura 87: Impacto da mudança climática no balanço hídrico para um cenário crítico no Brasil em 2040.

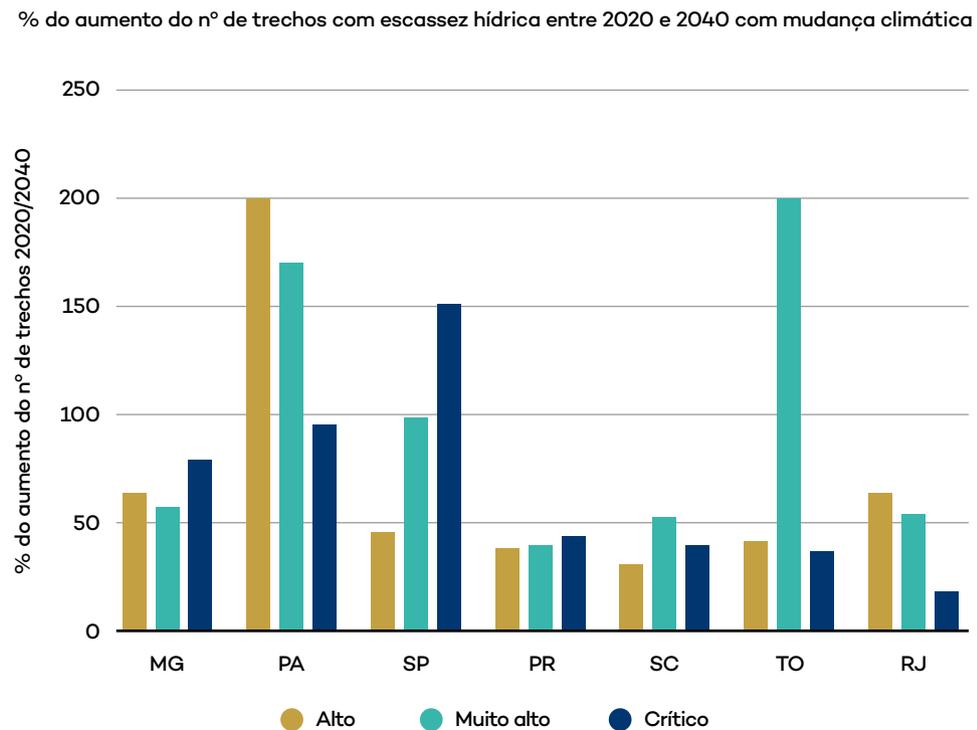


Figura 88: Percentual de aumento ou “piora” nos níveis de escassez hídrica entre o ano de 2020 e 2040 considerando um cenário de mudança climática.

Para ajudar a enfrentar os desafios atuais e futuros da mudança climática no Brasil, principalmente no tocante aos eventos extremos de secas e cheias, a ANA já vem atuando com uma gama de medidas estratégicas no sentido de mitigar o impacto desses eventos. Dentre essas medidas destacam-se a criação de uma coordenação de mudança climática, salas de crise, o apoio no desenvolvimento de planos de contingência, resoluções com definição de regras operativas para os principais reservatórios e marcos regulatórios de alocação hídrica, sala de situação das unidades federativas no acompanhamento das cheias, monitor de secas no Brasil, observatório regional da Amazônia incluindo o sistema de alerta precoce de cheias, Programa Produtor de Águas, restauração ecológica, pagamentos por serviços socioambientais na bacia do Xingu, entre outros. Adicionalmente, cabe ressaltar outras ações institucionais da ANA que contribuem para melhorar a tomada de decisão no processo de adaptação à mudança climática no setor de recursos hídricos como: a Rede Hidrológica Nacional (RHN) que monitora em tempo real os eventos extremos e possibilita o aprofundamento de estudos prospectivos, considerando as variáveis de forma sistematizada, para produzir estudos de vulnerabilidade; a regulação da drenagem urbana que ao promover o manejo sustentável das águas pluviais contribui para aumentar a resiliência das cidades brasileiras frente

aos impactos desses eventos, e as diversas publicações da ANA, a exemplo desta, no intuito de oferecer informação e dados para os diferentes atores envolvidos no uso e gestão da água.

A mudança do clima traz desafios que passam por rever e reformular processos e práticas consagradas. Na gestão de recursos hídricos, por exemplo, não é mais recomendável trabalhar estritamente com a premissa de estacionariedade das séries, uma vez que os parâmetros observados no passado podem não ser mais representativos do futuro. À variabilidade natural das séries, razoavelmente conhecida, foram adicionadas incertezas ampliando a gama de possibilidades do que pode acontecer e o que precisa ser feito. Apesar de ainda das incertezas sobre a magnitude dos impactos, é recomendável que os setores usuários, dentre eles o de mineração, pensem em medidas de adaptação, pois com algum nível de adaptação pode-se garantir maior resiliência ao sistema produtivo.

Essa adaptação pode beneficiar o sistema de recursos hídricos em termos de flexibilidade para operar de forma eficaz frente às possibilidades climáticas. Isso implicará na busca por estratégias robustas que garantam a operação do sistema frente a diversos cenários climáticos.

Para se antecipar às mudanças e seus respectivos impactos, a gestão dos recursos hídricos e os setores usuários, dentre eles a mineração, devem mudar sua abordagem para aprender a conviver com maior incerteza e com extremos de excesso e escassez de água mais intensos e frequentes, adaptando suas organizações e métodos de gestão à incerteza inerente à variabilidade hidrológica e à falta de conhecimento dos dados futuros, agravada pela mudança do clima.

Dessa maneira, reconhecendo que sempre ocorrerão mudanças e incertezas, sugere-se adotar um modelo de “gestão adaptativa”. A gestão adaptativa coloca-se como alternativa para orientar a ação em um ambiente de complexidade e incerteza. A previsão e o controle são substituídos pela cenarização prospectiva e pela adaptação. Para adaptar-se, o sistema de gestão de recursos hídricos e as cadeias produtivas da mineração devem procurar reduzir a complexidade dos processos de negociação, conferindo maior agilidade, espírito técnico e possibilidade de execução às decisões. Nesse sentido, se faz necessária uma evolução dos paradigmas subjacentes na época em que foram determinadas as bases da gestão dos recursos hídricos, tanto do lado da oferta quanto do lado da demanda por água.

Do lado da oferta, deve-se migrar para uma visão em que as projeções do comportamento dos sistemas hídricos existentes sejam ampliadas para além da faixa de variabilidade observada anteriormente ou que resultem de alterações significativas de suas características físicas. Ou seja, devemos

considerar mudanças e adaptações na nossa infraestrutura hídrica (cinza ou verde) atual e futura de modo a manter a confiabilidade que desejamos em termos de segurança hídrica para o Brasil.

Do lado da demanda, sugere-se reforçar a ideia de que a água é um bem econômico e não um bem livre, notadamente por meio dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, que devem ser mais robustos e flexíveis, passíveis de customização a situações críticas específicas. É importante também orientar e estimular a adoção de medidas de adaptação pela mineração, para que tornem seus sistemas produtivos mais resilientes a situações de redução de oferta hídrica, por exemplo, diminuindo a dependência de fontes de abastecimento tradicionais e cada vez mais disputadas. É importante investir na otimização dos ativos e no uso de novas tecnologias na mineração, no intuito de otimizar o consumo de água. Também é necessário tornar as estruturas de produção mais robustas e resilientes à mudança do clima em face da ocorrência esperada de extremos de precipitação que podem causar danos físicos diversos aos ativos da indústria.

A transição energética dos recursos baseados em combustíveis fósseis para as energias renováveis (também chamada de transição “verde”) exigirá enormes esforços do setor de mineração para atender as demandas globais com matérias-primas, especialmente minerais e metais, há um ritmo nunca visto. Por exemplo, um veículo elétrico requer normalmente seis vezes mais metais do que um convencional, e uma central eólica *onshore* requer nove vezes mais recursos minerais do que uma central elétrica alimentada a gás. Durante a última década, a taxa crescente de energias renováveis tem sido associada há um aumento de 50% na quantidade média de minerais necessários para uma nova unidade de produção de energia (*International Energy Agency, 2021*). Com os teores de minério mais baixos, será necessário extrair volumes maiores – resultando num desafio e numa oportunidade para o setor. Esse aumento na procura de minerais e metais realça a necessidade de a indústria fazer mais exploração geológica para identificar novos depósitos (*S&P Global, 2022*). Essa busca por novas áreas deve considerar os impactos da mudança climática na disponibilidade hídrica além dos impactos nos usos dos outros setores usuários de água.

Por fim, reforça-se que, para a sobrevivência e expansão do setor de mineração, é premente a adoção de medidas adaptativas, a exemplo da redução e racionalização do uso e consumo de água, do uso de novas tecnologias e equipamentos, e da adequação das infraestruturas para se tornarem mais resistentes às fortes precipitações e inundações já projetadas a se tornarem mais críticas. As empresas terão de melhorar a sua reciclagem e, em situações em que os recursos hídricos são limitados, terão de restringir o consumo de água para continuar as operações e limitar potenciais conflitos com as comunidades e a sociedade como um todo.

5.2 Resiliência operacional do setor de mineração à mudança do clima⁹⁸

- Maria de Lourdes Pereira dos Santos
- Patrícia Helena Gambogi Boson

5.2.1 Introdução e contexto

O setor de mineração, assim como diversos outros setores da economia, já está sentindo os efeitos da mudança do clima no Brasil e no mundo. O IPCC⁹⁹ afirma que a mudança climática afetará a exploração, extração, produção e transporte na indústria de mineração.

O aumento nos riscos relacionados ao clima, com especial atenção para os eventos hidrológicos extremos, secas e inundações, afeta a viabilidade das operações da mineração e aumenta potencialmente os custos operacionais, de transporte e de descomissionamento.

De acordo com o *International Council on Mining and Metals* – ICMM, eventos climáticos extremos e mudanças de longo prazo nos padrões climáticos têm o potencial de danificar ativos fixos e interromper as cadeias de abastecimento do setor. Sendo que, em geral, as principais áreas de preocupação das empresas de mineração são: a gestão da água, o desempenho de instalações com longa vida útil, como as barragens, e o fechamento e pós-fechamento de minas.

Restrições no fornecimento de insumos relevantes para os processos de mineração, como água e energia, riscos à saúde e à segurança dos funcionários, dificuldade de obtenção e manutenção de uma “licença social para operar” em comunidades nas quais os impactos advindos das vulnerabilidades climáticas podem aumentar a competição direta, entre a empresa e a comunidade, por recursos, especialmente hídricos, e a dificuldade de viabilizar projetos com maiores riscos físicos e não físicos, são outros exemplos de riscos para o setor mineral (BSR,2009).

A Figura 81, a seguir, mostra exemplos de Impactos, Riscos, Vulnerabilidades e medidas de adaptação para o setor da mineração:

⁹⁸ Leitura e Síntese de (<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Mineracao-Resiliente-1.pdf>) – responsáveis: Maria de Lourdes Pereira dos Santos e Patrícia Helena Gambogi Boson

⁹⁹ Iniciais de *Intergovernmental Panel on Climate Change*, que quer dizer Painel Intergovernamental para a Mudança Do Clima

IMPACTOS E RISCOS	
• Menor disponibilidade hídrica	• Danos à infraestrutura industrial, logística, de energia, de telecomunicações e portuária.
• Riscos de instabilidade/ rompimento de infraestruturas como por exemplo barragens	• Oxidação de estruturas metálicas e equipamentos.
• Maior incidência de inundações	• Redução de disponibilidade de matérias primas e insumos
• Perdas na produção	• Aumento dos custos operacionais
• Comprometimento de logística	• Maiores danos à saúde e segurança dos trabalhadores
• Perda de competitividade	• Menor geração de empregos
• Aumento do nível do mar	• Aumento das ondas e ilhas de calor
• Danos relacionados ao fechamento de mina	• Maior incidência de queimadas em áreas de conservação das empresas de mineração
VULNERABILIDADES	
• Dependência de matérias primas	• Susceptibilidade de deslizamentos em regiões mais acidentadas
• Susceptibilidade de inundações em regiões mais baixas	• Vulnerabilidade ao aumento do nível do mar em zonas costeiras
• Diversidade da matriz energética	• Baixos investimentos em adaptação e P&D
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO	
• Identificar e monitorar variáveis climáticas	• Ter acesso a ferramentas de monitoramento e alertas climáticos
• Mapeamento das áreas de riscos	• Uso racional e reuso de água
• Uso racional de energia e fontes alternativas	• Inclusão do risco climático no planejamento e nas tomadas de decisões
• Formulação e implementação de planos de contingência	• Conservação e recuperação de áreas naturais
• Criar barreiras naturais e recuperar manguezais em áreas costeiras	• Obras de contenção de encostas drenagem e controle de inundações
• Sistemas de alertas para desastres naturais	

Fonte: Adaptado de Adapta Clima, 2021

Figura 89: Impactos, riscos, vulnerabilidades e medidas de adaptação.
 Fonte: (<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Mineracao-Resiliente-1.pdf>) – pag. 26

■ 5.2.2 Resiliência e ferramentas

Diante desse cenário de impactos, riscos e vulnerabilidade, para o setor de mineração, é essencial construir resiliência operacional à mudança do clima, traduzida na capacidade de cada empresa de se adaptar, antecipando-se ao que pode acontecer, e se preparar para absorver os impactos aos choques climáticos. As empresas, de fato, precisarão aumentar a resiliência dos negócios, integrando as considerações sobre mudança do clima nos procedimentos de planejamento e gerenciamento de riscos existentes. Vale destacar que riscos podem se manifestar de várias maneiras, podendo impactar as operações, a produção e o desempenho financeiro, social e ambiental das empresas de mineração.

Nesse processo de construção de resiliência, importante ter um entendimento das principais etapas envolvidas no “ciclo de vida” da atividade minerária, que normalmente consistem em: planejamento, projeto, construção, operação, fechamento e pós-fechamento. Esse entendimento, levando-se em consideração as peculiaridades de cada uma das etapas, é importante para auxiliar na preparação, organização e estruturação das medidas de adaptação, e para a avaliação e antecipação de riscos que afetem a cadeia produtiva. Essas etapas raramente são lineares e o planejamento, o projeto e a construção são atividades recorrentes ao longo do ciclo de vida (MAC, 2019). Portanto, oportunidades e prioridades na análise para o enfrentamento dos riscos, vulnerabilidades e medidas de adaptação poderão ser bem diferentes para cada etapa.

A resiliência climática atravessa todos os componentes de uma atividade de mineração, e para isso ferramentas de gestão de risco se tornam instrumentos essenciais para uma melhor compreensão do tema e para a implantação de ações de mitigação dos riscos de maneira adequada. Atualmente existem diversas ferramentas de gestão de risco voltadas para a questão climática.

Uma das principais ferramentas para facilitar a gestão de adaptação no Brasil foi desenvolvida pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVces da FGV), baseada na metodologia da UK-CIP¹⁰⁰, desenvolvida pela universidade de Oxford. Ela tem como objetivo facilitar a gestão de processos e ações que aumentem a resiliência e reduzam vulnerabilidades, dentro de projetos e programas da sociedade civil, por meio de ações conscientes, planejadas, sistêmicas, estratégicas e coerentes com a realidade local, buscando fortalecer parcerias, desenvolver relações de cooperação e, portanto, otimizar esforços. O ciclo completo da ferramenta contempla o apoio à organização e à sistematização de

informações necessárias para promover a melhor compreensão e a gestão dos riscos e oportunidades da mudança do clima. Sua aplicação facilita a construção de planos de gestão da adaptação, que podem ser utilizados por empresas dos mais variados portes e setores, inclusive da mineração. A Figura 89, a seguir, demonstra a estrutura do ciclo.

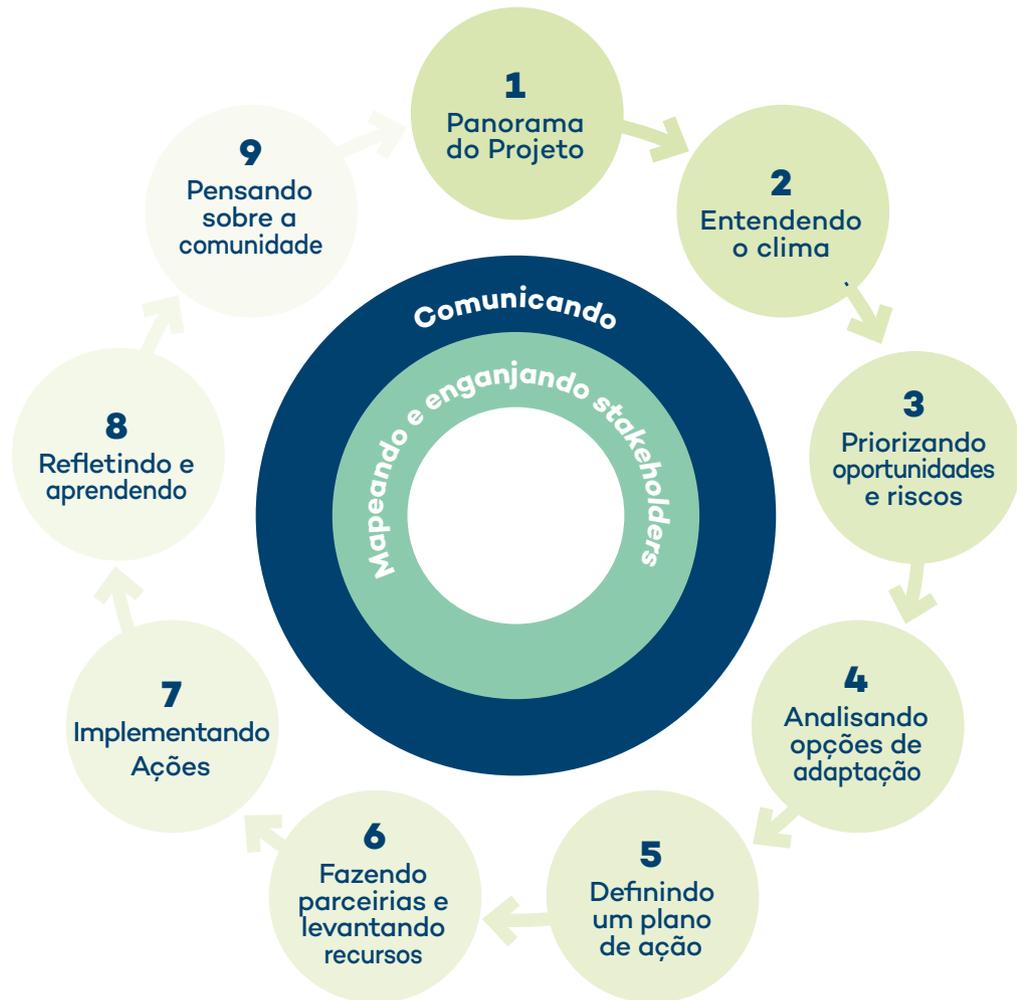


Figura 90: Ciclo da ferramenta de apoio à elaboração de estratégias de adaptação. Fonte: (<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Mineracao-Resiliente-1.pdf>) – pag. 32

O resultado esperado de todo este processo é a elaboração de um plano de adaptação robusto, e o aprendizado sobre uma abordagem de planejamento que pode ser incorporada ao planejamento estratégico organizacional, podendo, inclusive, ser conduzida de acordo com o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check and Act*), conforme a Figura 90.



Figura 91: Etapas do ciclo PDCA voltado para a implantação do plano de adaptação com foco nas empresas do setor de mineração. Fonte: (<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Mineracao-Resiliente-1.pdf>) – pag. 37

Além dessa ferramenta, outras ferramentas podem ser utilizadas por empresas do setor de mineração. Para o momento, foram selecionados e serão apresentados os principais exemplos de abordagens metodológicas o aplicáveis ao setor de mineração para a gestão de recursos hídricos.

■ 5.2.3 *Aqueduct Atlas*

As ferramentas da *Aqueduct*, cuja entidade responsável é o *World Resources Institute* (WRI), mapeiam os riscos relacionados aos recursos hídricos, como inundações, secas e estresses, usando dados de código aberto revisados por pares. Além das ferramentas, a equipe do *Aqueduct* trabalha individualmente com empresas, governos e parceiros de pesquisa para ajudar a promover as melhores práticas em gestão de recursos hídricos, permitindo o crescimento sustentável em um mundo com restrição hídrica.



Essa ferramenta pode ser acessada pelo link: <https://www.wri.org/aqueduct> e QR Code ao lado.

■ 5.2.4 *General Circulation Models (GCM) Downscaled Data Portal*

O portal de dados CCAFS-Climate fornece conjuntos de dados climáticos de alta resolução, globais e regionais, que servem como base para avaliar os impactos da mudança do clima e a adaptação em uma variedade de campos, incluindo biodiversidade, produção agrícola e pecuária, serviços ecossistêmicos e hidrologia. A entidade responsável é Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)



Para acessar: <http://www.ccafs-climate.org/> ou QR Code ao lado.

■ 5.2.5 *Water Risk Filter*

Com 32 indicadores de risco de bacias hidrográficas e mais de 12 conjuntos de dados de alta resolução de vários países, a ferramenta oferece uma variedade de camadas de mapas de risco e em diferentes escalas, de global a local. Além disso, os usuários podem selecionar diferentes camadas adicionais, a fim de facilitar uma avaliação mais precisa e permitir entender as ligações potenciais entre os riscos da água e outros fatores, como áreas protegidas, pegada humana, dentre outras. A entidade responsável é o WWF, *World Wildlife Fund* (Fundo Mundial da Natureza).



O acesso se dá pelo link <https://waterriskfilter.panda.org/> ou QR

■ 5.2.6 *Conclusão*

A adaptação à mudança do clima tem ganhado cada vez mais relevância. Isso tem ocorrido principalmente em decorrência das consequen-

ências já vivenciadas por toda sociedade como o aumento médio da temperatura global.

O Pacto Climático de Glasgow, instituído na COP26, reconheceu e reforçou a relevância do tema, ressaltando a necessidade de financiamento de países desenvolvidos para implementação de medidas de adaptação nos países em desenvolvimento.

A implantação de medidas de adaptação no setor de mineração é essencial. Não à toa o IBRAM lançou um guia¹⁰¹ com sugestões e ferramentas, como forma de apoiar as empresas nos seus respectivos processos de resiliência, voltadas para evitar danos ainda maiores, mitigando riscos para as atividades do setor. A utilização das diversas ferramentas disponíveis e o acesso às oportunidades de financiamento climático, podem auxiliar a catalisar esse movimento rumo à resiliência climática na mineração.

Além disso, o acompanhamento das regulamentações, iniciativas e ações nos níveis público e privado, tanto nacionais quanto internacionais, pode abrir espaço para a organização do setor em torno deste tema, trazendo benefícios para toda a cadeia da mineração e, conseqüentemente, para a sociedade.

O IBRAM tem consciência do seu papel fundamental na mobilização e sensibilização para este tema junto ao setor mineral brasileiro. Além de informar e capacitar as empresas sobre a necessidade de se adaptar à mudança do clima, o Instituto busca levar a visão do setor junto aos órgãos reguladores, auxiliando na construção de um arcabouço regulatório que traga um desenvolvimento sustentável para o país.

101 <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Mineracao-Resiliente-1.pdf>



Leito seco do riacho da Saudade, Gilbués, Piauí.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA

REFERÊNCIAS

ABRAJÁN, M. **Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible**. Espanha: Universidade Politécnica de Valencia, 2008, p. 244, 2008.

ADORNO, F. CMOC- **Gestão e conservação da água**. In: **SEMINÁRIO 4º NO CETEM – DIA INTERNACIONAL DA ÁGUA**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=k5QP87OntOA&t=4143s>.

ALCOA. 2022 **Sustainability Report: Moving Forward Sustainably**. Disponível em: <https://www.alcoa.com/sustainability/pdf/2022-Sustainability-Report.pdf>. 2022.

ALKON. **Uso da água na mineração**. Disponível em: <https://alkon.com.br/biblioteca/uso-da-agua-na-mineracao>. Acesso 10/01/2022.

ANA. **Vantagens e desvantagens das experiências internacionais sobre mudanças climáticas e alocação de água**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2015. 89p.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018**. Brasília: p. 262, 2019.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021**: informe anual. Brasília: ANA, 2021a.

ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2ª Ed. Brasília: ANA, p. 130: il. ISBN: 978-65-88101-10-0, 2021b.

ANA. **Impacto das Mudanças Climáticas nos Recursos Hídricos do Brasil**: NOTA TÉCNICA Nº 4/2023/SHE. Brasília: ANA, 2023.

ANA. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil** / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, 2019. 75 p.: il. ISBN: 978-85-8210-057-8

ANA. **Plano Nacional De Segurança Hídrica**. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>, 2019.

ANA. **Flourish**. Brasília: ANA, 2022.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022**: informe anual. Brasília: ANA, p. 105, 2023.

ANGLO AMERICAN. **100 years of Anglo American**. Disponível em: <https://southafrica.angloamerican.com/~media/Files/A/Anglo-American-Group/SouthAfrica/about-us/history/centenary-hub-city-press.pdf>. 2017.

ANGLO OPERATIONS LTDA. **E-Mmalahleni Water Reclamation Plant - Consolidated environmental management programme**, p. 82, 2021.

AZEVEDO, *et al.* **Aspectos ambientais nos setores mineiro e metalúrgico. Tratamento de Minérios**, 6ª Ed., Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, p. 795-842, 2018.

BARBOSA, F e Ciminelli, VST. **Recomendações sobre “Água na mineração, agricultura e saúde: o que a ciência mineira tem a dizer” Simpósio comemorativo do Centenário da Academia Brasileira de Ciências**, 19 e 20, abril de 2017, UFMG, Belo Horizonte, 7p, 2018

Barbosa, F. e Ciminelli, V.S.T. **Uso Sustentável da Água: Desafios para o Brasil**, Fórum para o futuro, p. 9, 2019. Disponível em: <https://www.forumdofuturo.org/post/uso-sustent%C3%A1vel-da-%C3%A1gua-desafios-para-o-brasil>

BARREDA, R.H.O. **Desenvolvimento de equipamento produtor de pasta mineral para aproveitamento de rejeitos das lamas calcárias e diminuição do impacto ambiental**. Tese. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 133, 2012.

BHP. **Annual Report** 2023. Disponível em: 230822_bhpannualreport2023.pdf. 2023.

BISSACOT, T. C. C. **Desenvolvimento de ferramenta de gestão para avaliação de risco hídrico: aplicação no segmento mínero-metalúrgico no Brasil**. Tese Doutorado. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2016.

BNDES. **Desenvolvimento e inovação para redução dos impactos ambientais e sociais**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/inovacao-tecnologia-mineracao-metais>, 2017.

BOTELHO, M. R., *et al.* **Rompimento das barragens de Fundão e da Mina do Córrego do Feijão em Minas Gerais**, Brasil: decisões organizacionais não tomadas e lições não aprendidas. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 46, e16. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.433, 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm.

CNI. **Mineração e economia verde**. CNI- Confederação Nacional da Indústria, IBRAM

CAVALCANTE, *et al.* **Estudo de características de pastas minerais para disposição de rejeitos**. ANAIS DO XXVIII ENTMMME, Belo Horizonte: Disponível em: <https://www.artigos.entmme.org/download/2019>, 2019.

CALCAGNO, P. *et al.* **How 3d implicit geometric modelling helps to understand geology: the 3dgeomodeller methodology**. In: XIth International Congress, Society for Mathematical Geology. [S.l.: s.n.], 2006.

CBA. **Relatório Anual 2022**. Disponível em: [Relatório anual CBA 2022](#). 202

CERRO VERDE. **Reporte de sostenibilidad 2020**. Disponível em: <https://www.cerroverde.pe/assets/img/publicaciones/mineria-cobre-molibdeno-arequipaminera-cerro-verde-peru-reporte-2020.pdf>. 2020.

CERRO VERDE. **Sustainability Report 2021**. Disponível em: www.cerroverde.pe/assets/img/publicaciones.

CHAVES HML, Braga B, DOMINGUES Af, SANTOS Dg. **Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do Programa do Produtor de Água (ANA): I. Teoria**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 9(3):05-14, 2004

CIMINELLI, V.S.T., *et al.* **Água e Mineração**, In: Rebouças A.C., Braga B., Tundisi J.G., editores. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras; 2006.

CIMINELLI, V.S.T, BARBOSA, F.A.R. **Mining and water resources in a changing world: the challenge to cope with water shortages, environmental impacts, and biodiversity conservation**. In: *Enhancing water management capacity in a changing world: the challenge of increasing global access to water and sanitation*. Fernando R. Spilki *et al.* (Organizadores), Novo Hamburgo-RS, Universidade Feevale, p. 541-552, 2016.

CIMINELLI, V.S.T.; Salum, M.J.G.; Rubio, J.; Peres, **A.E.C. Água e mineração**. In: Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação. Braga, B.; Tundisi, J.G. *et al.* (org.), 4th ed. Escrituras Editora, 2015, Capítulo 13, p. 425-455, 2018.

COCHILCO. **Forecast for water consumption in the copper mining industry, 2018-2029** (<https://www.cochilco.cl/Research/Forecast%20for%20water%20consumption%20in%20the%20copper%20industry,%202018-2029.pdf>).

CMOC. **Responsabilidade Ambiental**. Disponível em: <https://cmocbrasil.com/br/responsabilidade-ambiental>.

COWAN, E. *et al.* **Practical implicit geological modelling**. In: AUSTRALIAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY BENDIGO, VICTORIA. Fifth International Mining Geology Conference. [S.l.], 2003. p. 17–19.

CONAMA, **Resolução CONAMA Nº 430/2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, nº 92, 2011.

CNI & IBRAM. **Mineração e economia verde**. Confederação Nacional da Indústria, Brasília, p. 72, 2017.

CONTRERAS-PADILLA, M. *et al.* **Characterization of crystalline structures in *Opuntia ficus-indica***. Journal of Biological Physics, v. 41, n. 1, p. 99–112, 2015.

DEORE, S. L.; KHADABADI, S. S. **Standardisation and pharmaceutical evaluation of *Chlorophytum borivilianum mucilage***. Rasayan J Chem, v. 1, n. 4, p. 887–92, 2008.

FRANÇA, S.C.A.; TRAMPUS, B.C. **Desaguamento de rejeitos minerais para aplicação de métodos de disposição alternativos às barragens de rejeito convencionais**. Série Tecnologia Ambiental, 102. CETEM/MCTIC, p. 54, 2017.

FRANÇA, S.C.A.; SANTOS, S.C.M.; WANIS, A.; SOUZA, E. **Diagnóstico sobre tecnologias utilizadas para captação, uso, reúso e descarte da água na lavra e beneficiamento de minérios no Brasil**. Relatório Parcial de Atividades – Set/22 a Ago/23. CETEM/MCTI, p. 63. 2023.

GÁSCUE BR, *et al.* **Hidrogeles de acrilamida/ácido acrílico y de acrilamida/poli(ácido acrílico)**: Estudio de su capacidad de remediación en efluentes industriales. Revista LatinAm. Metal. Mat. 30 (1): 28–39, 2010.

GERDAL **Annual Report**. <https://www2.gerdau.com.br/wp-content/uploads/2022/07/Gerdau2020Report-1.pdf>. 2022.

GLENCORE. **Sustainability report 2022**. Disponível em: [GLEN_2022_sustainability_report.pdf \(glencore.com\)](https://www.glencore.com/~/media/2022/07/GLEN_2022_sustainability_report.pdf). 2023.

GMAR AMBIENTAL. **Gestão, Meio Ambiente e Reúso**. Disponível em: <https://gmarambiental.com.br/por-que-mineradoras-devem-investir-na-agua-de-reúso/2021>. 2021

IBRAM. **Políticas Públicas para a Indústria Mineral**. 1.ed., Brasília, p. 124, 2020.

IBRAM. **Água e Mineração: fatos e verdades**. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/agua-e-mineracao-fatos-e-verdades/>, 2015.

IBRAM. **Novas tecnologias permitem reúso de 90% da água**. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/novas-tecnologias-permitem-reúso-de-90-da-agua/>, 2015

IBRAM. **Mineração em Números 2021**. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/?txtSearch=&checkbox-section%5B%5D=1236>, 2022.

ICMM. International Council on Mining and Metals. **Water Reporting: Good Practice Guide**, 2nd Edition. https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/environmental-stewardship/2021/guidance_water-reporting.pdf?cb=59625.

ICMM. International Council on Mining and Metals. **Water Stewardship: Position Statement**. https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/mining-principles/position-statements_water-stewardship.pdf?cb=59905.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M. B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex and Paline M. Midgley. Cambridge, UK, and New York: Cambridge University Press, 2013.

IPCC. **Summary for policymakers**. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1–32, 2014.

ICMM. **Water Reporting: Good Practice Guide**. 2nd Edition, London, UK, p. 105, 2023.

KLANH LE, T. M.; MAKELA, M. SCHREITHOFER, N.; DAHL, O. **A multivariate approach for evaluation and monitoring of water quality in mining and minerals processing industry**. *Minerals Engineering*, v. 157, 2020. 1-9 p

KOOCHEKI, Arash et al. **Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent**. *Journal of Food Engineering*, v. 91, n. 3, p. 490-496, 2009.

KINROSS. **SUSTAINABILITY AND ESG REPORT KINROSS GOLD** https://s2.g4cdn.com/496390694/files/doc_downloads/2023/ESG/Kinross-2022-Sustainability-and-ESG-Report.pdf. 2022

Lei nº 9.433/97. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm

Lei 14066/2021, **revisão da PNSB**, disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14066.htm.

Lei 23291/2019. Política Estadual de Segurança de Barragens MG, disponível em <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-no-95-2022.pdf>

LIMA, B. **Água e mineração: em busca do uso consciente**. *Revista Mineração*. Disponível em: <https://revistamineracao.com.br/2018/03/22/agua-e-mineracao-em-busca-do-uso-consciente/>

LOTTERMOSER, B. **Mine Water**. In: *Mine Wastes*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-05133-7_3. 2003.

MENDOZA, et al. **Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA): collaborative water resources planning for an uncertain future**. Paris: UNESCO, p. 162. ISBN 978-92-3-100287-8, 2018

MARCA, J.R.B.; Ciminelli, V.S.T., Prata, A, T., Watanabe, E.H. **Engenharia para o futuro**. Academia Nacional de Engenharia, 20p. <http://anebrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Relatorio-Engenharia-para-o-futuro-2021-ANE.pdf>. 2022

MCA. **Minerals Industry Water Accounting Framework Guidance**. Mineral Council of Australia. Disponível em: <https://minerals.org.au/wp-content/uploads/2022/12/MCA-Water-Accounting-Framework-User-Guide-2.0-2022.pdf>. 2022.

MCKUIN, B.; ZUMKEHR, A.; BALES, R.; VIERS, J. H.; PATHAK, T.; CAMPBELL, J. E. **Energy and water co-benefits from covering canals with solar panels.** *Nature Sustainability*. n° 4 , 2021. 609–617p.

MEIRELES, G. L. **Monitoramento e gestão hídrica em tempo real aplicada a mineração.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá. 102pp. 2020.

MUELLER, S. A.; CARLILE, A.; BRAS, B.; NIEMANN, T. A.; ROKOSZ, S. M.; MCKENZIE, H. L.; KIM, H. C.; WALLINGTON, T. J. **Requirements for water assessment tools: An automotive industry perspective.** *Water Resources and Industry*, N° 9, 2015. 30–44 p.

MOREIRA, G.C., FRANÇA, S.C.A. **Influência da agregação de partículas no desaguamento de rejeitos minerais e na qualidade da água de reúso.** Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2322/1/Gui-lherme%20Campos%20Moreira.pdf>, 2019.

MOURA, A., Lutter, S., Siefert, C. A. C., Netto, N. D., Nascimento, J. A. S., & Castro, F. (2022) **Estimating water input in the mining industry in Brazil: A methodological proposal in a data-scarce context.** *The Extractive Industries and Society*, 9, 101015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.101015>

NEWMONT. **Sustainability Report 2022.** Disponível em: [Newmont 2022 Sustainability Report \(q4cdn.com\)](https://www.newmont.com/2022-sustainability-report). 2023

NEXA. **Relatório anual 2022.** Disponível em: https://www.nexaresources.com/wp-content/uploads/2023/05/RA_Nexa_2022_v11_FINAL_SITE.pdf. 2023.

NORTHEY, S. A., Mudd, G. M., Saarivuori, E., Wessman-Jääskeläinen, H., & Haque, N. **Water footprinting and mining: where are the limitations and opportunities?.** *Journal of Cleaner Production*, 135, 1098-1116. 2016-2018.

OTÁLORA, M.C. et al. **Use of Opuntia ficus-indica Fruit Peel as a Novel Source of Mucilage with Coagulant Physicochemical/Molecular Characteristics.** *Polymers*. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/18/3832>, 2022.

OUTOTEC. **Industrial Water Treatment solutions.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YoDkko3vZII>, 2018.

PEREIRA, P. H. **Conservador de Águas 12 anos.** 2017. Disponível em: <https://extrema.mg.gov.br/conservadordasaguas/wp-content/uploads/2019/10/CONSERVADOR-DAS-%C3%81GUAS-LIVRO-12-ANOS.pdf>.

QUEENSLAND GOVERNMENT. **Water Act 200**. Disponível em <https://www.legislation.qld.gov.au/LEGISLTN/CURRENT/W/WaterA00.pdf>, 2016.

QUITES, V. R. **Avaliação da Tenacidade à Fratura e da Resistência à Fadiga de aço tipo AISI 4140 utilizado em parafusos de bombas de polpa de minério de ferro em função de tratamentos térmicos**. Processo Produtivo Samarco, Dissertação de Mestrado; pag.138 a 142; maio de 2004.

RAMOS, RL., GROSSI, L., RICCI, B., AMARAL, MCS. **Membrane selection for the Gold mining pressure-oxidation process (POX) effluent reclamation using integrated UF-NF-RO processes**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 8, n. 5, 2020.

RIO TINTO. **Sustainable Development Report 2016**. Disponível em: https://minedocs.com/17/Argyle_Sustainable_development_report_2016.pdf

Resolução 95/2022 da Agência Nacional de Mineração, disponível em <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-no-95-2022.pdf>

Revista e Portal MEIO FILTRANTE. **Especializada em Filtração, Separação, Tratamento de Água e Meio Ambiente**. Disponível em: <https://www.meio-filtrante.com.br/Artigo/649/as-diferencas-entre-nanofiltracao-ultrafiltracao-microfiltracao-e-osmose-reversa>, 2011.

Revista e Portal MEIO FILTRANTE. **Especializada em Filtração, Separação, Tratamento de Água e Meio Ambiente**. Disponível em: <https://www.meio-filtrante.com.br/Artigo/649/as-diferencas-entre-nanofiltracao-ultrafiltracao-microfiltracao-e-osmose-reversa>, 2019.

Relatório de Sustentabilidade 2022. Disponível em: <https://smineracao.sharepoint.com/sites/Intranet>. 3 - Log in International Logistics, Cia Fac-tbook, Trasport Ministry; ANTT.

RICCI, BC., et al. **Integration of nanofiltration and reverse osmosis for metal separation and sulfuric acid recovery from gold mining effluent**. Separation and Purification Technology, v. 154, p. 11–21, 2015.

SALAS, J. D., Obeysekera, J., e VOGEL, R. M. **Techniques for assessing water infrastructure for nonstationary extreme events: a review**. Hydrol. Sci. J., 63(3), 325–352, 2018.

STRASKRABA, V.; EFFNER, S. **Water control in underground mines – grouting or drainage?** IMWA Symposium Johannesbrug. 2012

SHAREAMERICA.GOV. **Esta mineradora peruana produz água limpa para Arequipa.** ShareAmerica. Disponível em: <https://share.america.gov/pt-br/esta-mineradora-peruana-produz-agua-limpa-para-arequipa/>, 2016.

SAMAEI, SM., GATO-TRINIDAD, S.,ALTAEE, A. **Performance evaluation of reverse osmosis process in the post-treatment of mining wastewaters: Case study of Costerfield mining operations, Victoria, Australia.** *Journal of Water Process Engineering*, v. 34, n. December 2019, p. 101116, 2020.

SAMPAIO, J.A., LUZ, A.B., ANDRADE, M.C., FRANÇA, S.C.A., **Água no processamento mineral.** In: Tratamento de Minérios, 6ª Edição (Eds. Luz, A.B., França, S.C.A, Braga, P.F.A.), CETEM: MCTI, pp.755-796, 2018.

SAMPAIO, J.A., LUZ, A.B., ANDRADE, M.C., FRANÇA, S.C.A., **Água no processamento mineral.** In: Tratamento de Minérios, 6ª Edição (Eds. Luz, A.B., França, S.C.A, Braga, P.F.A.), CETEM:MCTI, pp.755-796, 2018.

SANTOS, S.C.M. **Operações de desaguamento na indústria mineral.** Relatório técnico de bolsa do programa de Capacitação institucional. PCI: CETEM, 2021.

SANTOS, S.C.M, FRANÇA, S.C.A., MOURA, C.P. **Tecnologias para uso e reúso de água na mineração – Estado da arte.** ANAIS DO XXIX ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA. CETEM: MCTI, 2022.

SNATURAL AMBIENTE. Disponível em: <https://www.snatural.com.br/membranas-ultrafiltracao-filtracao-agua>, 2022.

SOARES, D. V. **Proposição de Diretrizes para o estabelecimento de um modelo de negócio para Reúso de Água de Estação de Tratamento de Esgoto Aplicado à Mineração.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação Profissional em Engenharia Hídrica. Universidade Federal de Itajuba – MG, 2023.

SOUZA, G. F. A. **Avaliação da utilização de aditivo biopolimérico extraído do cacto *Opuntia ficus indica* em pastas e microconcretos de cimento Portland.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2019.

SOUZA, Saulo Aires. **Incertezas em Testes de Tendências Hidrometeorológicas na Tomada de Decisão em Medidas de Adaptação.** Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.TD-OXX/2022, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 411p, 2022.

TRAMPUS, B.C.; FRANÇA, S.C.A., **Rheology applied to the environmental management of mineral tailings: focus on safer disposal and water reuse.** *REM - International Engineering Journal*, v 72, n.2, p. 301-306, 2019.

UNEP. **Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects.** UNEP-DHI Partnership, IUCN, TNC, WRI, Green Economy Ventures and U.S. Army Corps of Engineers. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9291/-Green%20infrastructure%3a%20guide%20for%20water%20management%20%20-2014unep-dhigroup-green-in-frastructure-guide-en.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

UNITED NATIONS, **The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water**, UNESCO, 206p. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>.

UNITED NATIONS, **The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water**. UNESCO, Paris, p. 210.

VALE. **Sustainability reports. Integrated report 2022 and ESG Databook 2022.** Disponível em: <https://www.vale.com/web/esg/sustainability-reports>

WWAP. **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. Paris, UNESCO.

WORLD BANK. **Water in Agriculture**. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>.

World Steel Association (2020) **Water management in the steel industry**. Disponível em: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Water-management-in-the-steel-industry.pdf>

Treinamento Flowserve. Disponível em: <http://www.flowserve.com/education>.

BEATO, D.A.C., MONSORES, A. L., BERTACHINI, A. C. **Hidrogeologia, mapa hidrogeológico**, escala 1:50.000 em 3 partes. SEMAD/CPRM, 2005.

BERTACHINI, Antonio C. **Hidrogeologia e desaguamento da Mina de Águas Claras**. In: CONGR. BRAS. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, 1994, Recife, Anais... Recife: ABAS/DNPM/CPRM, 1994. p 274-283.

PERRONI, Júlio C. A.; BERTACHINI, Antonio C.; BERTACHINI, Maurício, N. A., CORDEIRO, Vinicius, F; VOLTARELLI Ana, L; REIS, Fábio, A, G, V. **Manual de Manutenção de poços tubulares profundos**, 151 páginas. MGEO/FUNDUNESP/ FEBRAGEO/ CONFEA&CREA. 2022.

SILVA, Adelbani B. da; SOBREIRO NETO, Agostinho F.; BERTACHINI, Antonio C. **Potencial das águas subterrâneas no Quadrilátero Ferrífero**. In: CONGR. BRAS. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, 1994, Recife, Anais... Recife: ABAS/DNPM/CPRM, 1994. P. 264-283.

ALVES, P. I. A. **Empilhamento de rejeito filtrado**: a expansão de uma alternativa para substituição de barragens. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2020.

HYDRO. Disponível em: <https://www.hydro.com/en-BR/about-hydro/hydro-worldwide/americas/brazil/barcarena/alunorte/deposito-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

IBRAM **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**; organizador. Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016, 128p.

MEND - **Mine Environment Neutral Drainage Project**. MEND Report 2.50.1 *Study of Tailings Management Technologies*. Klohn Crippen Berger. The Mining Association of Canada (MAC), Canadá, 2017.

MINERAÇÃO RIO DO NORTE. **Plano de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração (PAEBM)**. YouTube, 09/02/2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pCzjbhKvtE8>

OLIVEIRA-FILHO, W. L., ABRÃO, P. **Disposição de rejeitos de mineração**. In: ZUQUETTE, L. V. (Org.). *Geotecnia Ambiental*. Elsevier, Rio de Janeiro, 2015.

PIMENTA, J. **The drained stacking of granular tailings: a disposal method for a low degree of saturation of the tailings mass**. *Proceedings Tailings and Mine Waste*, Vancouver, BC. 11p., 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT PR 2030**. Dezembro de 2022.

HAROLDO RODRIGUES. **ESG e ODS não são sinônimos, são caminhos conectados**. Forbs Collab. 20/04/2021. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-collab/2021/04/haroldo-rodrigues-esg-e-ods-nao-sao-sinonimos-sao-caminhos-conectados/>. Acesso em: 02/10/2023

IPEA. **OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS 6: Água Potável e Saneamento**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html>.

RAFAEL ÁVILA. **O que é a Norma ABNT PR 2030 e como ela vai influenciar que vai influenciar o cenário ESG no Brasil. Sustentabilidade Agora.** Abril de 2023. Disponível em: <https://sustentabilidadeagora.com.br/abnt-pr-2030/>.

SALUM, M.J.G. **Desenvolvimento Sustentável na Indústria Mineral Brasileira.** In: PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050. Caderno 5. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.** Resolução 70/1 da Assembleia Geral das Nações Unidas. September, 25, 2015.

BACELLAR, L. A. P. **O Papel das Florestas no Regime Hidrológico das Bacias Hidrográficas,** Departamento de Geologia da Escola de Minas da UFOP, Ouro Preto-MG, 2005.

CABRAL, S. L., CAMPOS, J. N. B., SILVEIRA, C. S., GOMES, H. B. **Modelagem Hidrológica Contínua de uma Bacia Hidrográfica do Semiárido Brasileiro:** Aplicação do Modelo *Soil Moisture Accountig* (SMA) do HEC-HMS, XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília-DF, 2015.

CHAVES, H. M. L., BRAGA, B. P., DOMINGUES, A. F., SANTOS, D. G. **Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do Programa Produtor de Água (ANA):** I – Teoria, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 9, No 3, 2004.

HAWKINS, R. H., WARD, T. J., WOODWARD, D. E., VAN MULLEM, J. A. **Curve Number Hydrology – State of the Practice,** ASCE – American Society of Civil Engineers, 2009.

PINHEIRO, M. C. A **Realidade dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itacaiúnas,** Capítulo do Livro Carajás: Aspectos Naturais e Socioeconômicos no Entorno das Áreas Protegidas, Organizador Jacson C. F. Campos, Editora Rupestre, Belo Horizonte-MG, 2019.

RIBEIRO, S. C., CHAVES, H. M. L., JACOVINE, L. A. G., SILVA, M. L. **Estimativa do Abatimento de Erosão Aportado por um Sistema Agrossilvipastoril e sua Contribuição Econômica,** Sociedade de Investigações Florestais, Revista *Árvore*, Vol. 31, No 2, Viçosa-MG, 2007.

SAMADY, M. K. **Continuous Hydrologic Modeling for Analyzing the Effects of Drought on the Lower Colorado River in Texas,** M. Sc. Thesis, Michigan Technological University, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 1993.

USACE - **U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Modeling System HE-C-HMS User's Manual**, Hydrologic Engineering Center, 2010.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC.

Nationally determined contributions under the Paris Agreement. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_08_adv_1.pdf. Acesso em: 26 out. 2021

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços - MDIC. **Plano setorial de mitigação e adaptação à mudança do clima para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na indústria de transformação**. Brasília: MDIC, 2013. 30. p. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Industria.pdf>.

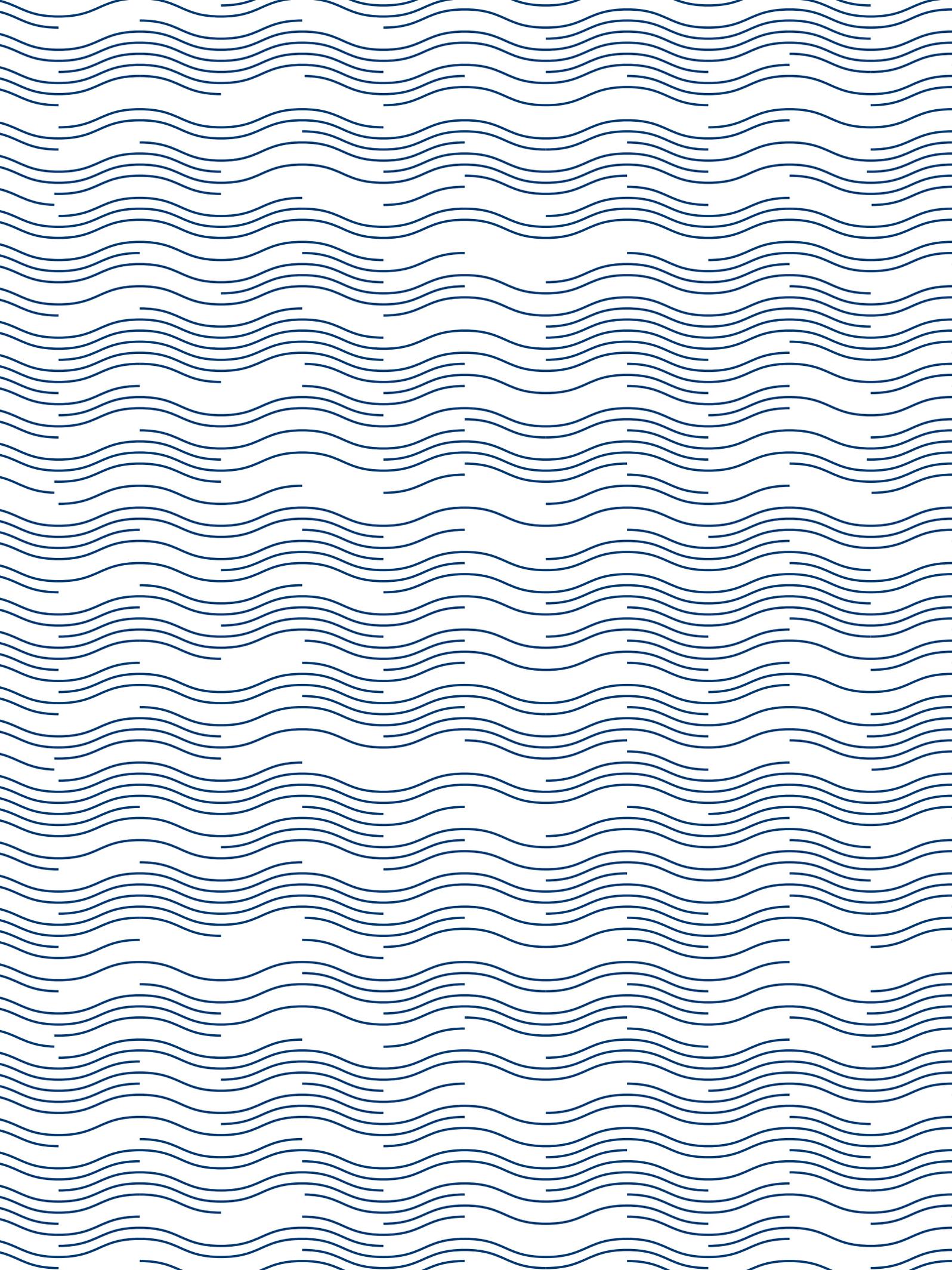
BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Grupo Executivo do Comitê Interministerial de Mudança do Clima**. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/arquivo/seguranca_alimentar/caisan/Publicacao/Caisan_Nacional/PlanoNacionaldeAdaptacaoMudancadoClima_Junho2015.pdf.

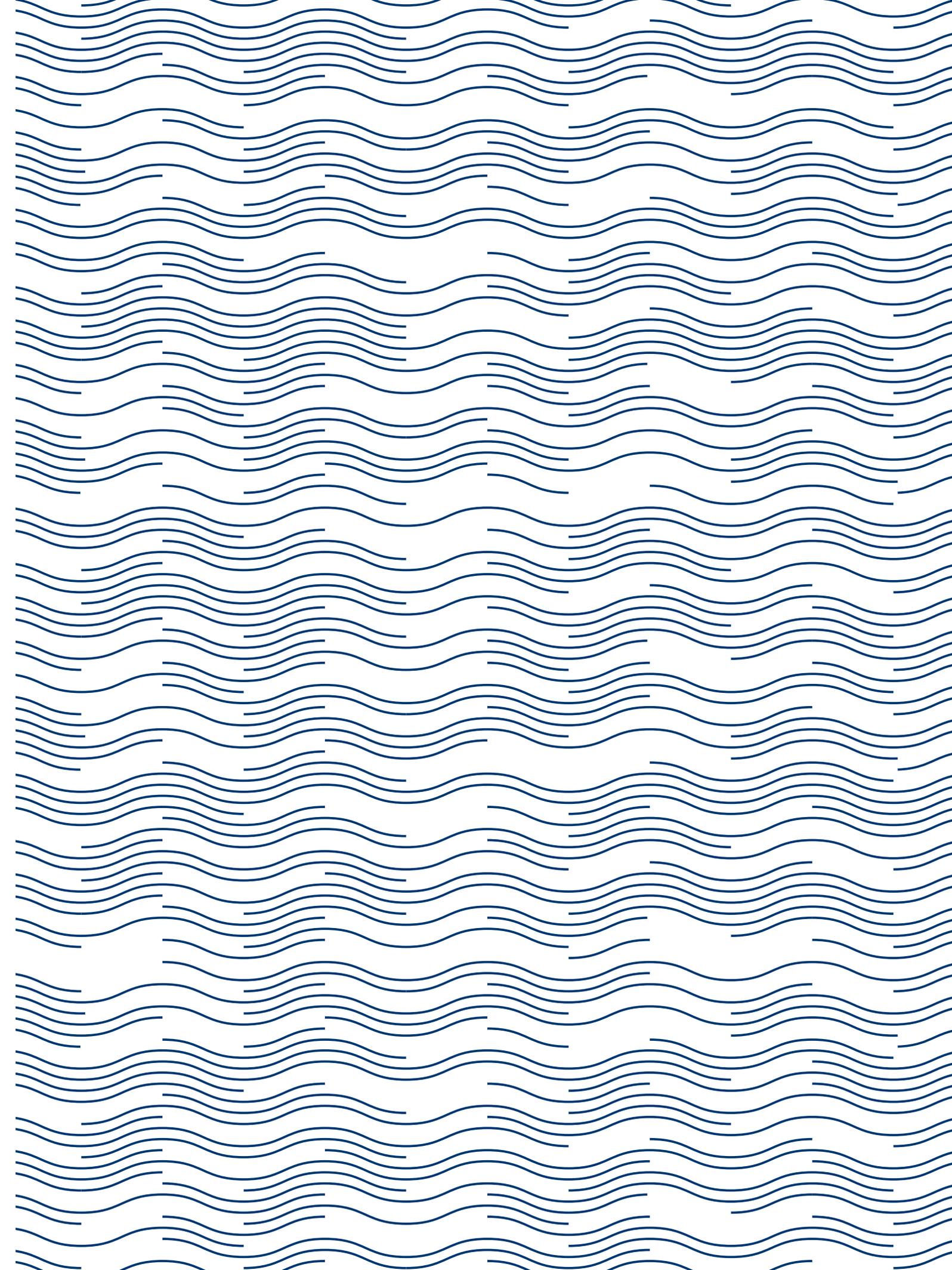
UNFCCC. Disponível em: <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/what-do-adaptation-to-climate-change-and-climate-resilience-mean>

Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação à Mudança do Clima na Mineração. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2019-06/clima-gera-prejuizo--de-us-1-trilhao-grandes-empresas>



**Pôr do Sol, rio Tocantins, Carolina, Maranhão.
Foto: Marcus Fuckner/Banco de Imagens ANA**







MINISTÉRIO DA
**INTEGRAÇÃO E DO
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL**

