

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO JOSÉ COSTA DA CUNHA

PLANO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA  
EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS: UM GUIA TÉCNICO DE ORIENTAÇÃO

CURITIBA-PR

2023

BRUNO JOSÉ COSTA DA CUNHA

PLANO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA  
EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS: UM GUIA TÉCNICO DE ORIENTAÇÃO

Relatório Técnico apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de MBA Gestão Ambiental, Setor de Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias (PECCA), Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Fernando Pasini

CURITIBA-PR

2023

# **PLANO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA EMPREENDIMENTOS MINERÁRIOS: UM GUIA TÉCNICO DE ORIENTAÇÃO**

Bruno José Costa da Cunha

## **RESUMO**

A gestão dos recursos hídricos é fundamental para as indústrias, mineradoras, agricultura e outros empreendimentos que dependem do consumo de água. As plantas de mineração utilizam água em várias etapas, como lavagem de minério, beneficiamento, transporte e controle de poeira. Nesse contexto, um Plano de Gerenciamento de Recursos Hídricos (PGRH) eficiente se faz necessário, porém, a literatura sobre o tema é escassa no Brasil. Portanto, este estudo propõe um modelo de orientação abrangente, que além das ferramentas regulamentadas e legais, engloba tecnologia, padronização, gestão de riscos, análise de dados, melhoria contínua e gestão integrada dos recursos hídricos. O modelo de orientação do plano de gestão de recursos hídricos para indústrias de mineração foi desenvolvido com base nas diretrizes da indústria 4.0, nos requisitos legais e nos padrões de desempenho ASI. O plano deve ser um documento acessível a todos os funcionários da empresa e do órgão ambiental, e abrange informações sobre recursos hídricos, tratamento de efluentes, características da bacia, plano de segurança hídrica, plano de ação para contaminação, indicadores de recursos hídricos, consumo e reúso de água, e oportunidades da indústria 4.0 para monitoramento de processos. Além de fornecer uma visão holística do gerenciamento da água e verificar a eficiência do processo de gestão, o PGRH compila informações que facilitam a melhoria contínua do processo de gestão dos recursos hídricos do empreendimento.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Mineração. Mineração de bauxita. Gestão da água. Modelo de orientação.

## **ABSTRACT**

Water resource management is essential for industries that rely on water consumption. Mining plants use water in various stages, such as ore washing, beneficiation, transportation, and dust control. In this context, an efficient Water Resource Management Plan (WRMP) is necessary, but literature on the subject is scarce in Brazil. Therefore, this study proposes a comprehensive guidance model that goes beyond regulated and legal tools, encompassing technology, standardization, risk management, data analysis, continuous improvement, and integrated water resource management. The guidance model for water resource management plan in mining industries was developed based on the guidelines of Industry 4.0, legal requirements, and ASI performance standards. The plan should be an accessible document for all employees of the company and the environmental agency, covering information on water resources, effluent treatment, basin characteristics, water security plan, contamination action plan, water resource indicators, water consumption and reuse, and Industry 4.0 opportunities for process monitoring. In addition to providing a holistic view of water management and assessing the efficiency of the management process, the WRMP compiles information that facilitates continuous improvement. It is an essential tool to ensure the sustainable use of water resources in various sectors.

Keywords: Water resources. Mining. Bauxite mining. Water management. Guidance model.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	<b>5</b>
<b>3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>7</b>
2.1 CONHECIMENTO DA ÁREA DE TRABALHO .....	8
2.2 ARRUMANDO A CASA.....	9
2.3 MANUTENÇÃO DE ROTINAS E APERFEIÇOAMENTO DE PROCESSOS .....	11
3.1 DIAGRAMA DE BLOCOS .....	.
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>17</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>17</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A manutenção da qualidade ambiental é crucial para o bem-estar humano, o desenvolvimento socioeconômico e a preservação da diversidade dos ecossistemas. No Brasil, a Constituição Federal de 1988 estabelece, em seu artigo 225, o direito de todos a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial para uma qualidade de vida saudável, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (CONSTITUIÇÃO FEDERAL, 1988).

O setor mineral brasileiro desempenha um papel significativo na economia do país, devido às suas extensas reservas e participação no comércio global de commodities minerais. Em 2019 e 2020, contribuiu com aproximadamente 3,19% e 3,18% do PIB brasileiro, respectivamente (SETTI, 2001). A água desempenha um papel fundamental em diversos usos, produtos e serviços que beneficiam a qualidade de vida global e o meio ambiente (PORTO, 2012). Portanto, é crucial controlar os impactos ambientais causados por essa atividade, a fim de preservar um ambiente adequado para o desenvolvimento sustentável e continuidade das operações nesse setor.

A água está presente em todo o processo de extração mineral, desde a exploração até o beneficiamento. De acordo com Oliveira e Guedes (2020), as fontes de água utilizadas na mineração podem ser superficiais, subterrâneas e/ou recicláveis. Segundo o Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos 2017, elaborado pela Agência Nacional das Águas em 2016, a mineração foi responsável por retirar

1,6% da água no país, o que corresponde a 1,024 bilhão de metros cúbicos por ano (ANA, 2017).

É evidente que as operações mineradoras, devido às intervenções que realiza no meio físico e uso da água nos processos de extração, beneficiamento, processamento e descargas operacionais, podem impactar a dinâmica hídrica de uma bacia hidrográfica. Por outro lado, as empresas mineradoras também são afetadas pela dinâmica física e socioeconômica da bacia hidrográfica (AZEVEDO, 2020).

As características da bacia hidrográfica, como disponibilidade de água, qualidade, taxas de extração e uso do solo, têm impacto nas operações das mineradoras. Embora essas dinâmicas pareçam óbvias, elas são complexas e exigem uma compreensão sofisticada das pressões exercidas sobre os recursos hídricos por diversos usuários. Além disso, as pressões sociais, as prioridades de desenvolvimento e as mudanças nas políticas podem afetar a operação das mineradoras (IBRAM, 2006).

De acordo com Fidelis et al. (2018), a gestão dos recursos hídricos deve levar em consideração as interações entre diferentes atores e setores envolvidos, como as comunidades locais, o setor industrial e os órgãos governamentais. Além disso, conforme a Lei 9.433 (Brasil, 1997) que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo das águas. Essa abordagem integrada possibilita uma melhor compreensão dos riscos e uma resposta mais eficaz diante das mudanças e pressões.

Segundo Mendes et al. (2019), a gestão integrada dos recursos hídricos é fundamental para lidar com os desafios decorrentes das mudanças climáticas e do aumento da demanda por água. Nesse sentido, é essencial considerar as diferentes dimensões envolvidas na gestão, como os aspectos técnicos, socioeconômicos, ambientais e políticos. Almeida et al. (2020) ressaltam a importância da participação ativa da sociedade civil e dos usuários de água no processo de elaboração e implementação do Plano de Gestão dos Recursos Hídricos. Essa participação promove a transparência, a inclusão de diferentes perspectivas e o fortalecimento do engajamento comunitário.

A mineração desempenha um papel crucial no desenvolvimento social, tecnológico e econômico, mas a gestão ambiental nesse setor apresenta desafios significativos. Em vista disso, este trabalho propõe o desenvolvimento de um guia técnico para auxiliar profissionais que atuam na área da mineração, seja em

empreendimentos de médio ou grande porte, na criação de um plano de gestão dos recursos hídricos.

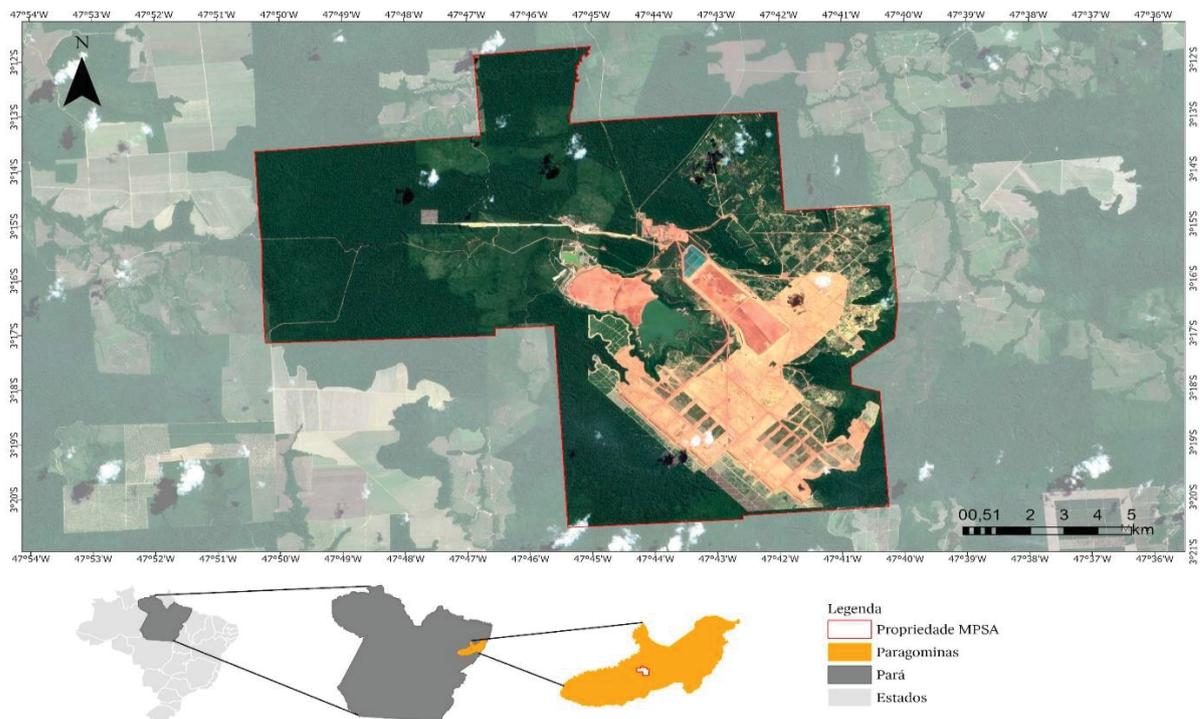
## 2 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos deste trabalho, foram realizadas consultas em:

- Legislações e resoluções nacionais, tais como: Lei 9.433 (Brasil, 1997) que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos e Resolução nº 55 (CNRH, 2005) que trata sobre as diretrizes para elaboração de um Plano de Utilização da Água na Mineração-PUA;
- Normas técnicas: ISO 14001/Ano que se refere à implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), ISO 14031 (ABNT, 2015) - Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA);
- Estudos técnicos de meio ambiente: Estudo de Impacto Ambiental – EIA, Plano de Controle Ambiental – PCA e Estudo de Disponibilidade Hídrica.

O estudo foi realizado na Mineração Paragominas S.A, localizada no município de Paragominas, estado do Pará, Brasil (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização do empreendimento Mineração Paragominas S.A.



Fonte: O autor (2023).

O início das obras de implantação do empreendimento ocorreu em junho de 2003 e se estendeu até dezembro de 2005. O empreendimento iniciou suas atividades com a meta de produção de 4,5 milhões de toneladas por ano (Mtpa) em novembro/2006. A operação comercial iniciou-se em fevereiro/2007. Em 2009, ocorreu a expansão para produção de 9,9 Mtpa. Atualmente, o empreendimento está com a produção de, aproximadamente, 11 Mtpa, porém a MPSA já detém a Licença de Operação (LO), emitida em 2010, para produzir até 14,85 Mtpa.

As atividades implantadas no Projeto Bauxita de Paragominas incluem os seguintes processos:

- Uma mina onde são realizadas operações para lavar o minério e transportá-lo até a usina de beneficiamento;
- Uma usina de beneficiamento onde o minério será britado, moído e separado da fração ultrafina (granulometria argilosa), preparando-o para o envio para a refinaria ALUNORTE, através de um mineroduto;
- Um mineroduto de 244 km de extensão que liga a Mineração Paragominas a Alunorte em Barcarena-PA;
- Diques de rejeito onde o material argiloso (material fino), identificada como rejeito, separada na usina de beneficiamento, será disposta com segurança;
- Unidades de apoio a produção, tais como prédios administrativos, refeitório, laboratório, portaria e oficinas situadas em área do platô Miltônia 3;
- Estrada de ligação mina, rodovia PA-256 e linha de transmissão de energia elétrica, infraestrutura necessária a operação da atividade de mineração no platô.

O processo produtivo se inicia com a supressão vegetal, decapeamento (é a operação de retirada da camada de estéril, basicamente argila), lavra do minério, transporte do minério da mina para a usina, beneficiamento (lavagem, adequação de granulometria, homogeneização, moagem, retirada de argila, adensamento da polpa e armazenamento em tanques) e transporte da polpa de bauxita por mineroduto.

Cada etapa é composta por fases que envolvem a gestão de pessoas, conhecimento do processo produtivo, caracterização da bacia hidrográfica, a padronização de processos, mapeamento de riscos e vulnerabilidades, planos de monitoramento, gerenciar para manter, gerenciar para aprimorar processos.

É importante destacar que as experiências obtidas pelos autores na gestão da rotina (dia a dia) do trabalho no empreendimento foi o ponto de maior contribuição na metodologia aplicada para alcançar os resultados deste trabalho.

O guia técnico foi estruturado em 3 etapas, sendo elas: 1ª etapa: conhecimento da área de trabalho; 2ª etapa: arrumando a casa; 3ª etapa: mantendo a rotina e aperfeiçoando processos, sendo complementado pelo diagrama de blocos sobre PGRH da Mineração Paragominas S.A.

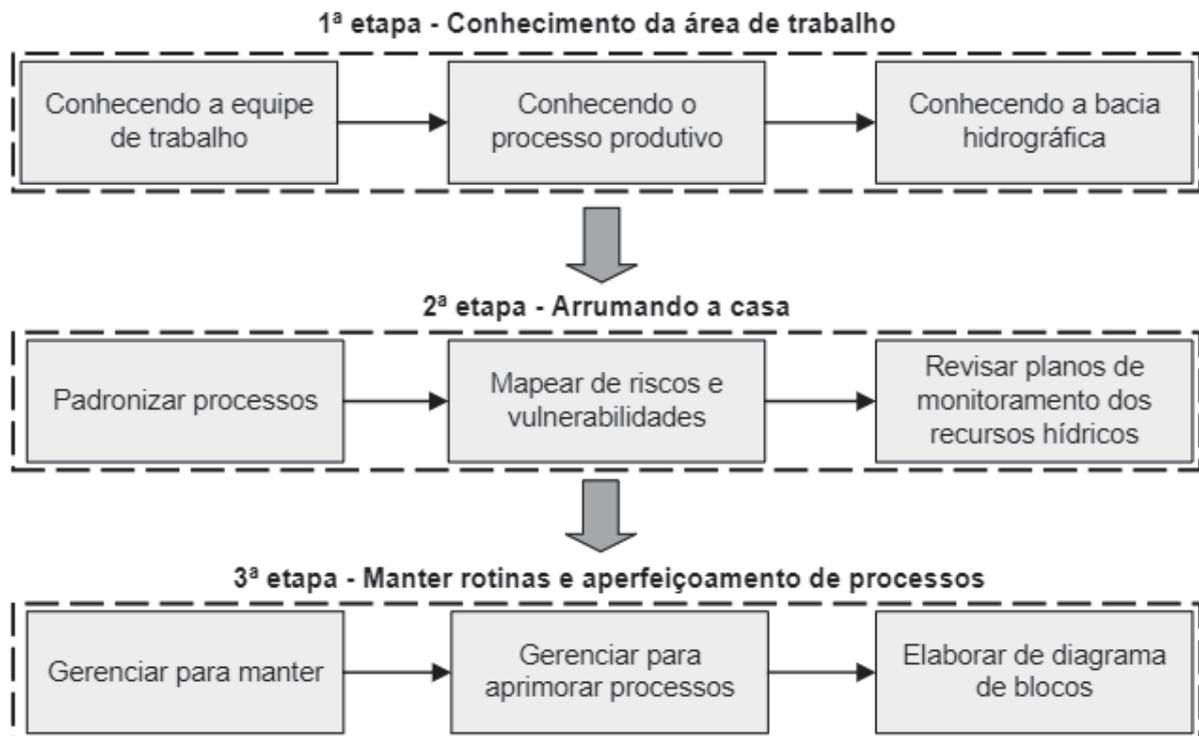
Ao final, será apresentado um diagrama resumindo os procedimentos e diretrizes essenciais para capacitar profissionais e gestores a aprimorar a gestão dos recursos hídricos em seus empreendimentos.

### 3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nos itens a seguir serão apresentados os resultados que compõem o guia de gestão dos recursos hídricos de empreendimentos minerários.

A Figura 2 contém o resumo da estrutura de organização dos resultados deste trabalho.

Figura 2 - Esquema das etapas de apresentação dos resultados obtidos neste trabalho.



Fonte: O autor (2023).

O esquema apresentado na Figura 2 fornecem uma visão abrangente e estruturada de um plano gestão dos recursos hídricos em empreendimentos. Nos itens a seguir serão fornecidos mais detalhes sobre a composição de cada uma das três etapas descritas no esquema.

## 2.1. 1ª ETAPA - CONHECIMENTO DA ÁREA DE TRABALHO

A 1ª etapa é denominada “Conhecimento da área de trabalho”. Essa etapa é composta pelas seguintes fases: conhecimento da equipe de trabalho, conhecimento do processo produtivo, e conhecimento da bacia hidrográfica. Veja o detalhamento a seguir:

- 1ª fase: a apresentação da equipe deve ocorrer com o objetivo de conhecer as competências e habilidades de cada membro da equipe para que o gestor saiba o que deve extrair de cada membro da equipe, além de estabelecer uma base em confiança e respeito mútuo. Estes, por sua vez, são essenciais para que colaboradores sejam capazes de vir até o gestor dos recursos hídricos e se sentirem confortáveis para compartilhar seus problemas e anomalias relacionadas ao processo;
- Na 2ª fase, deve ser efetuado a descrição de todo o processo de beneficiamento do minério, mediante visitas a cada etapa do processo produtivo, objetivando o reconhecimento de todas as rotinas operacionais do processo para descrever detalhadamente as atividades desenvolvidas, tais como: operação de mina; operação e manutenção de máquinas e equipamentos; sistemas de barragens; captação de água; sistema de reúso/reaproveitamento de água; rotinas operacionais do setor de produção; dispositivos de controle ambiental; rotinas operacionais da estação de tratamento de água (ETA) e estação de tratamento de esgoto (ETE) da fábrica. Além da visita *in loco*, é importante que seja feita a avaliação de documentos disponíveis no próprio empreendimento, objetivando obter informações, tais como: fluxogramas de processo produtivo, procedimentos operacionais, descrição e protocolos de operação de sistemas, bem como fluxogramas operacionais e balanço hídrico;
- O conhecimento da bacia hidrográfica consiste na 3ª fase dessa etapa, ela pode começar com a análise de relatórios técnico, mapas e estudos ambientais, o que permitirá que o gestor tenha conhecimento espacial do território e da área de

influência do empreendimento. O levantamento de campo para o reconhecimento da área diretamente afetada pelo empreendimento é fundamental para identificação de riscos, vulnerabilidades e usos da água por usuários externos, bem como conhecer os regimes de escoamento, características físicas, localização de nascentes, área de proteção ambiental (APP) dos corpos hídricos.

Para o sucesso dessa atividade é essencial o acompanhamento dos profissionais que já trabalham no local, a fim de obter informações mais detalhadas e relevantes sobre o meio físico e esclarecer quaisquer dúvidas que possam surgir durante a visita de campo.

Para enriquecer as informações sobre a hidrografia onde está localizado o empreendimento é importante que seja identificada a região hidrográfica, bacia hidrográfica, microbacia, corpos hídricos principais, bem como a dominialidade dos corpos hídricos, essas informações podem ser obtidas em plataformas da Agência Nacional da Água (ANA) e/ou dos órgãos ambientais estaduais. Além disso, a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica é fundamental para análise do comportamento hidrológico em função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo e vegetação) e dentre outros, tais como ação antrópica de uso e ocupação do solo (SOUZA et al., 2002).

Todo esse levantamento pode prever diversas situações como alagamentos, enchentes e inundações que trazem problemas para a população que habita próximo dos canais, pois “os principais problemas da conservação dos recursos hídricos estão relacionados à sua qualidade e disponibilidade” (ANDRADE et al., 2017).

## 2.2. 2ª ETAPA - ARRUMANDO A CASA

A 2ª etapa da metodologia apresentada neste guia de gestão foi denominada “Arrumando a Casa”. Essa etapa se inicia com a padronização de processos, e envolver outras duas fases: mapeamento de riscos e vulnerabilidade, e revisão dos planos de monitoramento de RH.

A 1ª Fase envolve a padronização de processos aqui, primeiramente, o gestor deverá conhecer todos os processos e procedimentos que são executados pelas equipes de trabalho e identificar quais são os mais importantes para a gestão. Em seguida, é fundamental que sejam elaborados procedimentos para: operação e manutenção de equipamentos responsáveis pelo monitoramento quantitativo e

qualitativo da água e efluentes; manuseio e operação de equipamentos laboratoriais; requisitos de qualidade para a execução de tarefas; procedimentos para levantamento de campo e avaliação de impacto.

Outros documentos que o gestor deve elaborar são os cronogramas de: coletas de amostras de águas e efluentes; atendimento de condicionantes ambientais; entrega de relatórios técnicos; manutenção de equipamentos e instrumentos de medição; atualização de estudos ambientais; e o que mais couber para a gestão do empreendimento.

A padronização de processos é um instrumento que indica a meta (fim) e os procedimentos (meios) para a execução de trabalhos, de tal maneira que cada membro da equipe tenha condições de assumir a responsabilidade de seu trabalho.

O mapeamento de riscos e vulnerabilidades consiste na segunda (2ª) fase da etapa de “Arrumando a Casa”, essa deve ocorrer por meio da listagem dos eventos de risco ligados aos objetivos institucionais, como o mapeamento dos eventos de riscos ligados aos processos críticos e depois dos eventos de riscos atrelados aos subprocessos dos processos críticos. Outra forma de mapeamento de vulnerabilidades é mediante a utilização de imagens de satélites e levantamento de campo para identificar de áreas desprovidas de vegetação, trechos de assoreamento de corpos d’água, erosões de taludes e solo, bem como usos e ocupação do solo que podem impactar na qualidade da água superficial e subterrânea.

Uma vez feito o mapeamento e listagem dos eventos de risco, é necessário avaliar as possíveis causas e possíveis consequências de cada um desses eventos.

Após a identificação dos riscos e as possíveis causas e consequências, é necessário mensurar os riscos, por meio do cálculo do nível de risco. O primeiro passo é calcular o nível de risco bruto, que é a probabilidade e o impacto de um evento de risco antes de implementada qualquer medida de controle. Em seguida, para avaliar os riscos, os eventos de risco devem ser mapeados e mensurados, tornando-se necessária ainda a definição das medidas de tratamento que serão implementadas para cada um deles. Os tratamentos possíveis são: aceitar, mitigar, transferir, evitar. Novamente, a participação dos profissionais mais experientes no local é fundamental para o mapeamento de riscos e vulnerabilidades.

Na 3ª fase desta etapa, deve ser efetuada a revisão dos planos de monitoramento qualitativo e quantitativos dos recursos hídricos e efluentes.

- No monitoramento qualitativo, busca-se avaliar se os parâmetros já monitorados possuemnexo causal com as operações do empreendimento, logo, nessa fase é uma boa oportunidade para inclusão e/ou exclusões de: pontos de monitoramento (revisão da malha de monitoramento), variáveis físico-químico e biológicas no programa de monitoramento. Além disso, foi verificado se tais parâmetros são exigidos pelas legislações estaduais, nacionais e, quando aplicáveis, normas internacionais;
- O monitoramento hidrométrico (quantitativos) é composto por medição de vazão dos rios e nível da água subterrânea. Na medição de vazão foi avaliada a localização dos pontos de medição de vazão, métodos de medição (manual ou automático), análise de curvas-chave. Já no monitoramento da dinâmica aquífera, deve ser revisto a frequência de medição, localização dos poços, relatórios de perfuração dos poços, perfil construtivo e conhecimento do mapa potenciométrico.

### 2.3. 3ª ETAPA - MANUTENÇÃO DE ROTINAS E APERFEIÇOAMENTO DE PROCESSOS

Um processo consiste em um conjunto de causas que provocam efeitos (CAMPOS, 2013). Gerenciar ou controlar um processo é o ato de buscar as causas (meios) da impossibilidade de atingir uma meta e estabelecer contramedidas. Em outras palavras, gerenciar para manter as rotinas consiste em:

- Padronizar todas as tarefas;
- Tratar os riscos, vulnerabilidades e anomalias;
- Monitorar os resultados do processo.

No dia a dia de empreendimentos acontecem várias anomalias, ou seja, acontecimentos fora do comum ou não planejado. Esse tipo de evento é extremamente prejudicial para um sistema de gestão, pois a equipe perde o foco em atividades de melhorias para gastar energia tratando essas anomalias.

Ao reduzir as anomalias, as necessidades de trabalho que não agregam valor são diminuídas. Para minimizar esse tipo de acontecimento é necessário padronizar todas as tarefas, em outras palavras, elaborar:

- Protocolos de execução das atividades, de levantamento de campo;

- Diagramas de bloco das atividades de monitoramento ambiental, processos de solicitação de licenciamento ambiental;
- Plano de atuação em ocorrências ambientais.

Quanto aos riscos, vulnerabilidades e anomalias mapeados devem ser mitigados mediante planos de monitoramento, dispositivos de proteção, estudos técnicos e contratos com consultorias especializadas. As anomalias só serão eliminadas pela ação das funções operação, supervisão e gerenciamento. Portanto, é fundamental trabalhar para reduzir anomalias para ganhar produtividade em atividades de melhoria no processo.

Assim como os riscos, o mapeamento das vulnerabilidades ambientais associadas aos recursos hídricos é muito importante para a prevenção de incidentes ambientais. A vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas.

Neste contexto, Figueiredo (2010) conceitua vulnerabilidade ambiental a susceptibilidade de um sistema à degradação ambiental, considerando-se:

- A exposição do sistema às pressões ambientais típicas de atividades agroindustriais, avaliada por indicadores que mostram a pressão antropogênica exercida no sistema, tais como: uso e ocupação do solo, conflitos pelo uso da água, redução da disponibilidade hídrica;
- A sensibilidade do sistema às pressões exercidas, avaliada pelo uso de indicadores que mostram as características do meio físico e biótico próprias de uma região (tipo de solo, clima, vegetação) que já ocorrem antes de qualquer perturbação e que interagem com as pressões;
- A capacidade de resposta do meio, avaliada pela adoção de ações de conservação ou preservação ambiental que mitigam ou reduzem os possíveis efeitos das pressões exercidas.

A partir desses critérios, é possível definir as características e magnitude das interações entre as atividades do empreendimento e o meio ambiente exposto, além da sensibilidade do sistema e sua capacidade de adaptação a qualquer tipo de alteração, permitindo identificar e classificar as vulnerabilidades ambientais.

O emprego de energia para aperfeiçoamento dos padrões é fundamental para a gerenciamento hídrico, ou seja, para atingir metas de melhoria é necessário

estabelecer novos padrões ou modificar os existentes. Entretanto, vale destacar que para atingir novos padrões é necessário garantir o cumprimento do padrão atual do empreendimento.

Tanto para as fases de gestão para manter quanto para gestão para aprimorar processos a definição de indicadores ambientais é fundamental, pois é através deles é possível analisar as condições, mudanças da qualidade ambiental, além de favorecer o entendimento das interfaces da sustentabilidade, bem como de tendências, como uma ferramenta de suporte no processo de tomada de decisão e formulação de procedimentos internos da empresa e práticas sustentáveis. Na Mineração Paragominas, por exemplo, alguns indicadores ambientais e de desempenho operacional utilizados são: consumo específico de água ( $m^3_{\text{água}}/\text{tonelada}$  produzida), percentual de captação, disponibilidade hídrica a jusante da captação de água (vazão ecológica), percentual de reutilização de água e concentração de sólidos no rejeito.

Cabe ressaltar que os indicadores devem ser definidos conforme a realidade e necessidade do empreendimento, não devendo, portanto, utilizar uma gama de indicadores e selecioná-los de forma aleatória. Pois, o objetivo principal dos indicadores é agregar e quantificar informações uma maneira que sua significância fique mais evidente.

Além dos indicadores de desempenho, os índices de qualidade da água são fundamentais nos processos decisórios da gerência de meio ambiente do empreendimento e para o acompanhamento dos resultados obtidos no monitoramento da qualidade água superficial, água subterrânea e efluentes. Para o público em geral, a informação dos valores de concentrações dos poluentes nos corpos d'água tem pouco significado, devido às technicalidades envolvidas na interpretação dos resultados. As principais vantagens dos índices são as facilidades de comunicação com o público leigo, o status maior do que as variáveis isoladas e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. No entanto, sua principal desvantagem consiste na perda de informação das variáveis individuais e da sua interação.

Ainda na 2ª fase da 3ª etapa, chamada de "Gerenciar para manter", o uso de sistemas de informatização e mecatrônica para automatizar a gestão de dados, o monitoramento, levantamento de campo e a emissão de relatórios é indispensável atualmente em qualquer empreendimento, pois além de aumentar a qualidade e

confiabilidade do trabalho executado pela equipe, o uso da indústria 4.0 pode reduzir o desperdício de tempo e otimizar o uso dos recursos.

Alguns exemplos de tecnologias que podem ser aplicadas na gestão dos recursos hídricos são:

- Sondas multiparâmetro e equipamentos portáteis para monitoramento de parâmetros (turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade, temperatura, pH, salinidade, sólidos dissolvidos, nitrato, cloreto, amônia e outros parâmetros) qualitativos da água com envio de dados via telemetria (satélite);
- Transdutores de pressão para medição de nível d'água em rios com envio de dados via telemetria (satélite);
- Aplicativos para coletas de informações em atividades de campo. Estes podem ser criados no próprio empreendimento através do Microsoft Power App;
- Armazenamento de dados em nuvem, para garantir a segurança do armazenamento dos dados;
- Elaboração de relatórios técnicos de forma automatizada. Estes podem ser criados no próprio empreendimento através do Microsoft Power Automate;
- Emissão de relatórios gráficos e painéis de indicadores de forma automática. Estes podem ser criados no próprio empreendimento através do Microsoft Power BI;
- Aplicativos para a compartilhamento de dados e informações com qualquer membro da equipe e stakeholders. Estes podem ser elaborados através do Microsoft Power BI.

Esses são apenas alguns exemplos de tecnologias que podem proporcionar ao gestor dos recursos hídricos atue diretamente nos problemas ambientais e no ganho de produtividade a partir da performance de novas ferramentas tecnológicas que, a cada dia, são aperfeiçoadas para renderem mais em menos tempo. Ademais, o uso dessas ferramentas tecnológicas no monitoramento dos recursos hídricos é importante para que o gestor ganhe tempo para trabalhar em área que tenham um maior número anomalias e que necessitam de mais atenção da equipe.

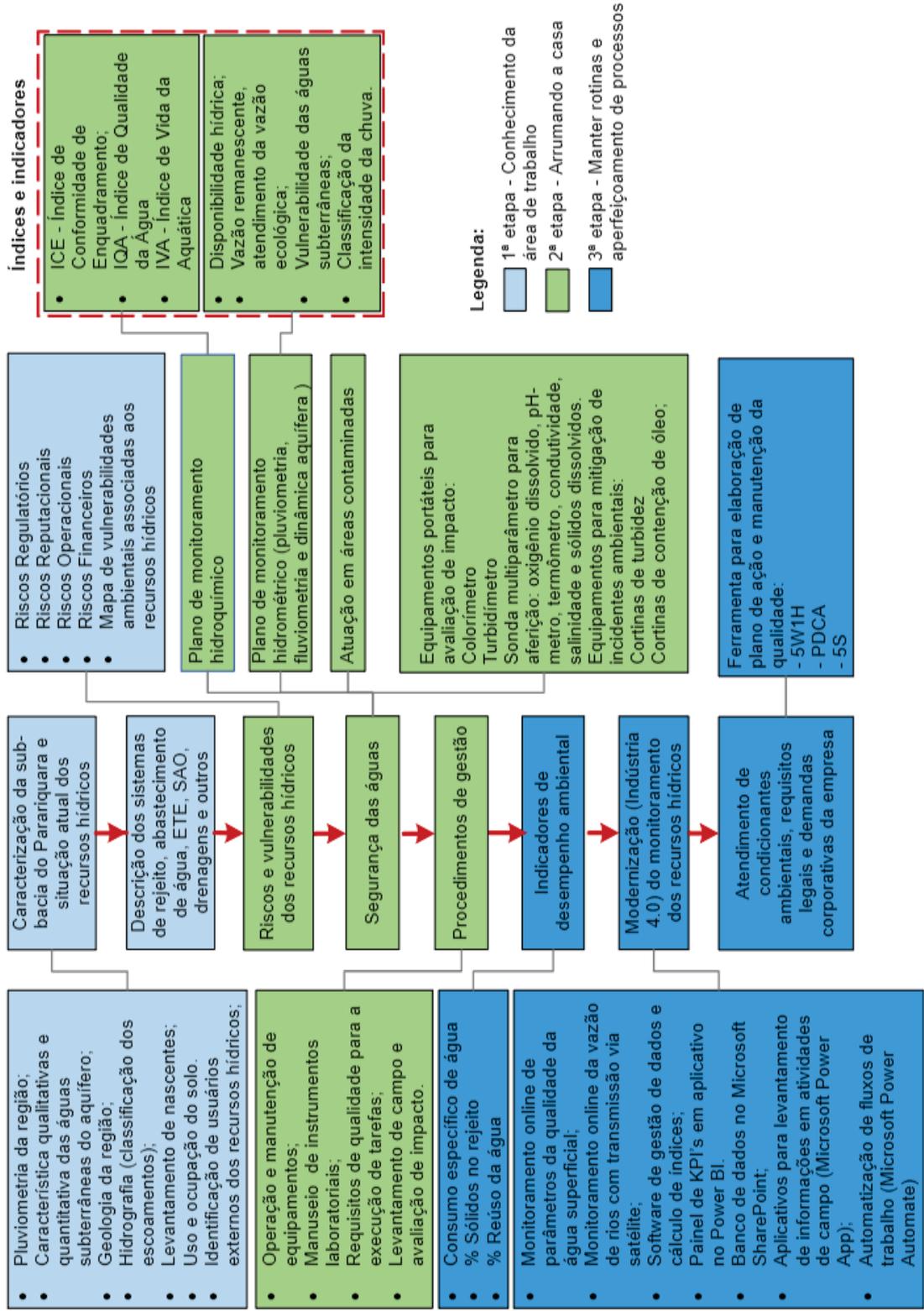
Para o amadurecimento do plano de gestão dos recursos hídricos, é importante que o gestor sempre busque implantar melhorias no processo e identifique as oportunidades de otimização. Para isso, a utilização de ferramentas como PDCA (*Plan, Do, Check e Act*) para desenvolver planos e operacionalizar o processo de melhoria contínua, a ferramenta 5W1H para a elaboração de plano de ação (ex.:

mitigação de impacto ambiental e implantação de um novo sistema de monitoramento da água) e a metodologia 5S para melhoria na qualidade e agilidade das entregas, bem como maior produtividade dos colaboradores, podem contribuir de forma significativa para o amadurecimento da gestão hídrica no empreendimento.

A terceira e última fase desta etapa consiste na elaboração do diagrama de blocos, uma forma eficaz para representar os passos lógicos de um determinado processo. Uma das principais vantagens desse tipo representação gráfica é que ela facilita a assimilação de informações por leitores em geral e, também, uma visualização mais rápida de todo o processo de gestão.

A fim de simplificar e facilitar o entendimento dos resultados apresentados neste trabalho, na Figura 3 poderá ser visualizado a estrutura do plano de gestão dos recursos hídricos da Mineração Paragominas S.A., composto por: estudos, ferramentas, programas de monitoramento, indicadores, riscos, índices de qualidades, tecnologias e outras informações relevantes para o gestor dos recursos hídricos.

Figura 3 - Diagrama de blocos de gestão dos recursos hídricos em empreendimentos.



Fonte: O autor (2023).

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou diferentes técnicas, metodologias, indicadores, tecnologias e boas práticas necessárias para implantação de um sistema de gestão dos recursos hídricos em empreendimentos minerários e expôs brevemente um case de sucesso implementado na Mineração Paragominas. Portanto, as informações contidas neste documento poderão ajudar equipes de gestão a identificar os principais aspectos ambientais associados com suas atividades e a buscar as melhores formas de mitigá-los, além de estimular a adoção de um comportamento proativo em relação às questões ambientais.

Este guia técnico poderá ser utilizado por engenheiros, técnicos ambientais, colaboradores em geral e demais interessados na adoção de práticas de gestão ambiental ou práticas ambientais com foco na otimização do uso dos recursos hídricos, aumentando a eficiência dos seus processos e reduzindo os impactos ao meio ambiente, de forma integrada e preventiva. A disseminação dessas boas práticas na gestão hídrica de empresas de pequeno, médio e grande porte, poderá contribuir para o desenvolvimento sustentável no setor industrial e mineral.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2017.

ALMEIDA, D. C. et al. O papel da participação social na gestão dos recursos hídricos: desafios e perspectivas para a sustentabilidade. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 1, p. 234-247, 2020.

ANDRADE, F. G; HERNANDEZ, F. B. T; FRANCO, R. A. M; CAVALARI, G. B; LEITE, M. A. Caracterização morfológica da microbacia do córrego do coqueiro, no nordeste paulista. Unesp – Faculdade de Engenharia: São Paulo, 2009. Disponível em: [//ftp.feis.unesp.br/agr/pdf/caracterizacao\\_morfometrica\\_coqueiro\\_cic2009.pdf](ftp://ftp.feis.unesp.br/agr/pdf/caracterizacao_morfometrica_coqueiro_cic2009.pdf). Acesso em: 30 de Setembro 2017.

ASSOCIAÇÃO Brasileira De Normas Técnicas (2004), NBR ISO 14001 – Sistema de gestão ambiental: especificação e diretrizes para uso. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14031: Gestão Ambiental: avaliação de desempenho ambiental - Diretrizes. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=327762>. Acesso em: 14 outubro 2018.

AZEVEDO, Isabela Prado. *Impactos socioeconômicos da atividade mineradora*. [Manuscrito] / Isabela Prado Azevedo. Ouro Preto. - 2020.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei Federal 9.433, 8 de janeiro de 1997, que institui a Política e o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, in: Política Nacional de Recursos Hídricos, 2ª edição, Secretaria Nacional de Recursos Hídricos, Brasília, D. F., 1999

Campos, Vicente Falconi. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia / Vicente Falconi Campos. 9.ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2013. ISBN: 978-85-98254-56-2.

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 55, 28 de novembro de 2005. Estabelece diretrizes para elaboração do Plano de Utilização da Água na Mineração-PUA. Ministério do Meio Ambiente, 2005.

FIDELIS, T. et al. Water management in mining and metal production: challenges and opportunities for sustainable development. Minerals, v. 8, n. 9, p. 408, 2018.

FIGUEIREDO, et al. Análise da vulnerabilidade ambiental / Maria Cléa Brito de Figueiredo... [et al.]. - Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. A gestão dos recursos hídricos e a mineração. / Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias; Instituto Brasileiro de Mineração; organizadores, Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson, Suzana Alípez. Brasília: ANA, 2006).

MENDES, T. R. et al. Gestão integrada de recursos hídricos: uma revisão conceitual e análise da experiência brasileira. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 14, n. 1, p. 37-52, 2019.

OLIVEIRA & GUEDES. ÁGUA E MINERAÇÃO. 15 de Julho de 2020. Acessado em: 13 de julho de 2022. Disponível em: [https://minerajr.ufop.br/blog.agua\\_e\\_mineracao.html](https://minerajr.ufop.br/blog.agua_e_mineracao.html).

PORTO, R.L.L. Fundamentos para gestão da água / coord. por Rubem La Laina Porto. -- São Paulo: s.n., 2012.

Resolução nº 55 de 28/11/2005 / CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Estabelece diretrizes para elaboração do Plano de Utilização da Água na Mineração-PUA.

SANTOS, Rodrigo César de Vasconcelos. Contribuição do Setor Mineral no Produto Interno Bruto Brasileiro. Radar nº 65 - Abril de 2021. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/210430\\_radar\\_art\\_6.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/radar/210430_radar_art_6.pdf).

SETTI, A. et al. Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos. 2. ed. Brasília: ANEEL. ANA, 2001.

SILVA, Hugo Alves da. Disponível em: <  
<https://hugosilva.jusbrasil.com.br/artigos/281188324/unidades-de-conservacao>>  
Acesso em 13 de julho de 2022.

SOUZA. C.G., et al. Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas. Belo Horizonte: EMATER, 2002. 124p.