

Dragagem mecânica *clamshell*: estratégia de revitalização e retomada da geração de energia na hidrelétrica Risoleta Neves

Dayana L. Gomes

RESUMO

O estudo aborda a eficácia da dragagem mecânica com *clamshell*, uma técnica essencial para a remoção de sedimentos acumulados nos reservatórios da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, comprometida pelo rompimento da barragem de Fundão, em Minas Gerais. O objetivo dessa pesquisa foi analisar a eficiência operacional, considerando seu impacto ambiental e sua eficiência no cumprimento das exigências de remoção de sedimentos para restaurar a operação do reservatório, permitindo a retomada da geração de energia após sete anos de inatividade. Para alcançar esse objetivo, foi utilizado o método de pesquisa de estudo de caso, no qual a dragagem foi aplicada a um projeto específico de compensação dos danos causados a usina Hidrelétrica Risoleta Neves. A coleta de dados incluiu parâmetros operacionais, como o volume de sedimentos removidos, impactos ambientais e tempo de execução da dragagem. Com o auxílio de inovações tecnológicas, como sistemas automatizados de monitoramento, a técnica permitiu a retomada da geração de energia na usina e demonstrou ser uma solução ambientalmente sustentável para recuperação de áreas impactadas. Foi possível concluir que a dragagem *clamshell* é um método viável e traz grandes benefícios em projetos de reabilitação ambiental, especialmente em ecossistemas sensíveis.

Palavras-chave: dragagem; sedimento; impactos ambientais; retomada.

1. INTRODUÇÃO

O rompimento abrupto da estrutura de contenção de rejeitos que ocorreu em Fundão, na unidade de Germano, em Mariana, Minas Gerais, no dia 5 de novembro de 2015, levou as empresas envolvidas a refletirem sobre os métodos de construção, manutenção e monitoramento de barragens, além de repensar suas práticas de segurança e responsabilidade ambiental. O reservatório da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves também conhecida como candonga, localizado na cidade de Rio Doce, Minas Gerais, há 135 quilômetros da barragem de Fundão, teve um papel crucial ao conter grande parte dos rejeitos resultantes do rompimento, impossibilitando inicialmente a geração de energia elétrica. A Samarco Mineração S.A, responsável pela barragem de Fundão, teve que enfrentar as consequências do incidente, dedicando-se à restauração dos rios prejudicados e à execução de diversos projetos para reestruturação.

A dragagem *clamshell* realizada no ano de 2022 foi estrategicamente implementada pela Samarco Mineração S.A e outras empresas para lidar com as consequências do colapso da barragem. A utilização deste método, em conjunto com outras medidas de restauração, foi fundamental para minimizar os danos ao meio ambiente e às comunidades afetadas, incluindo a Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, que ficou inativa por sete anos.

Utilizado no Brasil desde os anos 1970, o *clamshell* é um equipamento amplamente empregado para escavação do solo na execução de paramentos com paredes-diafragma. A ferramenta, que está presente em grandes obras de infraestrutura urbana (como as do metrô, por exemplo), tem como principal característica a capacidade de executar paredes retangulares com espessura entre 30cm e 1,40m. A largura padrão de cada painel é de 2,50m, podendo chegar a 3,80m. Mas fora do Brasil, há exemplos de projetos realizados com paredes de até 1,80m de espessura. A escavação com *clamshell* é uma evolução técnica das cortinas com estacas justapostas tipo *strauss* ou escavadas mecanicamente (NAKAMURA, 2024).

Portanto, o método de dragagem *clamshell*, que emprega um tipo de cesto ou concha não apenas se revelou eficaz na remoção de rejeitos de mineração e na restauração de candonga pós-tragédia em Mariana, como também é conhecida por sua velocidade e exatidão. A remoção

foi realizada por guindaste de 200 toneladas instalado sob a balsa e *clamshell* de 10m³. O primeiro equipamento deste porte a realizar uma operação de dragagem no Brasil (KELLEN, 2022).

Os sedimentos retirados foram transportados por embarcações até o ponto de apoio construído pela Samarco Mineração S.A, e com o auxílio de escavadeiras, depositados em baías (MARCELO, 2022), posteriormente transferido por caminhões para bacias construídas na Fazenda Floresta (Setor 11), próximo a região. Seu poder de resgatar sedimentos no fundo de corpos d'água de forma controlada tem influência importante na recuperação da qualidade da água.

A dragagem mecânica realizada com *clamshell* tem sido amplamente estudada e aplicada em diversas áreas, especialmente na engenharia costeira e portuária (SMITH *et al.*, 2018). Além disso, pesquisas realizadas por Jones e Brown (2019) destacam a capacidade da dragagem mecânica com *clamshell* de minimizar impactos ambientais, quando comparada a métodos de dragagem mais invasivos, como a dragagem hidráulica. No entanto, é importante ressaltar as limitações e desafios associados a esse método (WHITE *et al.*, 2020), incluindo a geração de resíduos sólidos e o potencial de turbidez na água durante o processo. Assim, apesar de suas vantagens, a dragagem mecânica com *clamshell* requer uma abordagem cuidadosa e avaliação contínua de seu impacto ambiental e eficácia operacional.

Diante deste contexto, este estudo tem por finalidade mostrar o processo de dragagem *clamshell*, que permitiu a revitalização do lago e o reestabelecimento da geração de energia na Usina Risoleta Neves no ano de 2022. Esse método inovador certamente merece destaque por sua contribuição para a sustentabilidade ambiental e para a otimização de processos industriais.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a eficácia da dragagem mecânica com *clamshell* em um contexto real, enfatizando sua eficiência e viabilidade operacional.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência operacional da dragagem com *clamshell*.

- Avaliar o desempenho da técnica em termos de tempo de execução e volume de sedimentos removidos.
- Identificar os impactos ambientais gerados pela dragagem, e propor soluções para mitigar esses impactos.

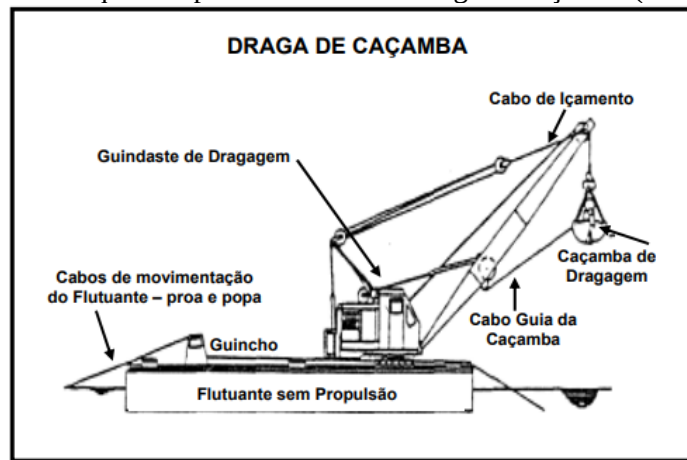
3. REVISÃO DE LITERATURA

A análise das estratégias de retomada através da dragagem mecânica *clamshell* é um campo de estudo que abrange diversas dimensões, desde os impactos ambientais até as inovações tecnológicas. A literatura existente sobre o tema revela uma evolução nas abordagens e descobertas ao longo dos anos, refletindo a complexidade e a importância da dragagem na gestão de ambientes aquáticos.

3.1 Conceito e aplicação da dragagem mecânica com *clamshell*

A dragagem mecânica com *clamshell* é uma técnica amplamente empregada para a remoção de sedimentos submersos, especialmente em ambientes portuários e canais de navegação. Segundo Chiapetta (2000), esse método consiste no uso de uma caçamba mecânica com garras apresentado na Figura 1, onde mostra os componentes principais, como guindaste responsável pela movimentação da caçamba e os cabos presos ao flutuante que possibilitam o ciclo de corte de dragagem, que escava e remove os sedimentos do fundo do corpo d'água. De acordo com as informações presente no caderno técnico de dragagem DNIT (2024), a atividade de dragagem com escavadeira hidráulica sobre plataforma flutuante requer a utilização dos seguintes equipamentos: escavadeira hidráulica, plataforma flutuante, batelão sem propulsão e rebocador. Sua principal vantagem está na capacidade de remover grandes volumes de sedimentos em áreas de difícil acesso, sendo uma técnica de escolha em muitos projetos de manutenção portuária e dragagem de canais de acesso. No entanto, sua precisão pode ser comprometida em ambientes com correntezas intensas, o que resulta em dispersão de sedimentos.

Figura 1. Esquema operacional de uma draga de caçamba (*clamshell*)



Fonte: Soares (2006)

3.2 Impactos ambientais da dragagem com *clamshell*

Um dos principais desafios da dragagem com *clamshell* é o impacto ambiental associado à dispersão de sedimentos finos, que aumenta a turbidez da água. Silva *et al.* (2013) destacam que a elevação na turbidez pode prejudicar os ecossistemas aquáticos ao reduzir a penetração de luz, interferindo na fotossíntese de plantas aquáticas e causando distúrbios na fauna local. Além disso, a remoção de sedimentos pode liberar contaminantes anteriormente armazenados no fundo do corpo d'água, levando à contaminação de áreas adjacentes (RUKAVINA; JEFFERIES, 1980). Tais impactos ambientais são um dos maiores obstáculos à aplicação sustentável da dragagem.

3.3 Técnicas de mitigação dos impactos ambientais

Dada a necessidade de minimizar os impactos ambientais da dragagem, diversas tecnologias têm sido desenvolvidas para mitigar a dispersão de sedimentos. Entre as soluções mais recomendadas estão as cortinas de turbidez, que funcionam como barreiras físicas para conter os sedimentos em suspensão. Clarke e Wilber (2000) mostraram que essas cortinas podem reduzir significativamente os efeitos da dragagem, diminuindo a propagação de partículas e a consequente degradação ambiental. No entanto, sua eficácia depende de fatores como a instalação correta e o monitoramento contínuo durante a operação.

3.4 Monitoramento ambiental em operações de dragagem

O monitoramento ambiental desempenha um papel crucial no controle dos impactos da dragagem com *clamshell*. Santos e Carneiro (2011) sugerem que o uso de sensores de turbidez e sistemas de monitoramento contínuo podem ajudar a garantir que as operações de dragagem não ultrapassem os limites ambientais regulamentados. O monitoramento em tempo real permite ajustes imediatos nas operações, caso os parâmetros de qualidade da água apresentem níveis indesejados, como o aumento excessivo de partículas suspensas.

3.5 Eficiência operacional da dragagem com *clamshell*

Menezes *et al.* (2018) analisaram a eficiência operacional da dragagem mecânica com *clamshell*, destacando que, embora seja eficaz na remoção de grandes volumes de sedimentos, o método pode ser mais demorado e caro em comparação com outras técnicas, como a dragagem hidráulica. Além disso, fatores como o consumo de combustível, manutenção dos equipamentos e as interrupções devido a condições climáticas podem impactar a viabilidade econômica dessa técnica em certos projetos. No entanto, em áreas onde a dragagem hidráulica não é viável, a técnica com *clamshell* permanece uma escolha adequada.

Dentre as vantagens das dragas de escavadeiras é possível apontar a facilidade de dragar uma grande variedade de materiais, de posição e profundidade, além de ser adequada para locais confinados e estreitos (SIMÕES, 2009).

3.6 Inovações tecnológicas na dragagem

Recentemente, Guerra *et al.* (2019) apontam para o uso de tecnologias emergentes que podem aumentar a eficiência e a sustentabilidade da dragagem com *clamshell*. Entre as inovações, destacam-se sistemas automatizados de monitoramento e controle, além da implementação de técnicas de remoção mais precisas, como dragas equipadas com sensores avançados para melhor controle da operação. Essas inovações visam reduzir os custos operacionais e os impactos ambientais, porém ainda necessitam de mais validações em grandes operações portuárias.

3.7 Perspectivas futuras para a sustentabilidade da dragagem

Apesar dos avanços na mitigação de impactos e no aumento da eficiência operacional, a dragagem com *clamshell* ainda enfrenta desafios em termos de sustentabilidade ambiental.

Estudos recentes sugerem que a combinação de técnicas de controle ambiental, como as cortinas de turbidez, com monitoramento contínuo e automação dos processos, podem ser uma solução promissora para garantir operações mais responsáveis ambientalmente (MENEZES *et al.*, 2018). Contudo, ainda há uma lacuna na literatura em relação à implementação prática dessas inovações em larga escala, especialmente em projetos de grande porte e em áreas sensíveis ecologicamente.

Esses estudos, ao decorrer dos anos, ilustram a evolução do conhecimento sobre a dragagem mecânica *clamshell* e suas implicações na revitalização de ambientes aquáticos. A análise crítica das pesquisas revela a necessidade de um enfoque integrado que considere tanto a eficiência operacional quanto a preservação dos ecossistemas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração desse estudo de caráter exploratório e descritivo, foi realizada uma busca na literatura, a fim de obter uma abordagem adequada para investigar os avanços tecnológicos no campo da dragagem. Os materiais incluíram fontes de dados, como artigos científicos, relatórios técnicos e livros específicos sobre o tema, estudo de caso prático na usina hidrelétrica Risoleta Neves que forneceram o embasamento teórico necessário para discutir os avanços tecnológicos e seus impactos na eficiência e sustentabilidade das operações de dragagem.

As bases de dados consultadas, como *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*, permitiram a seleção de publicações relevantes e atualizadas. Além disso, *softwares* como *powerpoint* foram utilizados para a organização e síntese dos dados, enquanto o *NVivo* possibilitou uma análise qualitativa mais detalhada dos textos científicos e relatórios. O uso dessas ferramentas garantiu uma gestão eficiente dos dados e a correta análise das informações coletadas.

Os métodos adotados para o desenvolvimento do artigo incluíram a realização de uma revisão da literatura e uma análise comparativa das tecnologias aplicadas na dragagem. A revisão de literatura, fundamentada por diversos autores, foram essenciais para identificar os avanços tecnológicos mais recentes na área, como automação, dragagem elétrica, sistemas de monitoramento em tempo real e novas ferramentas de modelagem ambiental. A seleção dos artigos baseou-se em critérios como o ano de publicação, o impacto acadêmico e a relevância do tema.

A análise comparativa foi conduzida para avaliar a eficiência operacional das novas tecnologias em comparação aos métodos tradicionais de dragagem, possibilitando uma visão mais clara das melhorias obtidas com o uso de inovações tecnológicas. Estudos de caso também foram analisados, com foco em projetos de grande escala que documentaram a aplicação dessas tecnologias, permitindo uma avaliação dos benefícios observados, como o aumento da eficiência, a redução de custos e a mitigação dos impactos ambientais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados deste estudo sobre inovações tecnológicas na dragagem revelaram avanços significativos no aumento da eficiência operacional e na mitigação dos impactos ambientais das operações. Os avanços mais notáveis incluem a automação dos processos, sistema de monitoramento em tempo real de parâmetros como a profundidade de escavação e o volume de sedimentos removidos, garantindo maior precisão e reduzindo a necessidade de intervenção manual, planejamento logístico e tecnologia de remoção. No campo ambiental, o monitoramento contínuo em tempo real permitiu ajustes imediatos, assegurando que os padrões ambientais fossem respeitados. A análise dos dados coletados por meio da revisão de literatura e estudos de caso indicou em melhorias notáveis em diversos aspectos das operações de dragagem.

As técnicas de mitigação dos impactos ambientais são essenciais para reduzir ou prevenir danos ao meio ambiente causados por atividades humanas, como dragagem, construção civil, agricultura e indústria. Essas abordagens visam preservar a biodiversidade, proteger ecossistemas frágeis e garantir a qualidade dos recursos naturais, como ar, água e solo. Uma das principais abordagens é a avaliação de impacto ambiental (AIA), que consiste na análise detalhada dos possíveis efeitos de um projeto antes de sua execução. Segundo Sadler (1996), a AIA ajuda a identificar medidas de mitigação adequadas e alternativas que podem ser menos prejudiciais ao meio ambiente, promovendo decisões mais informadas.

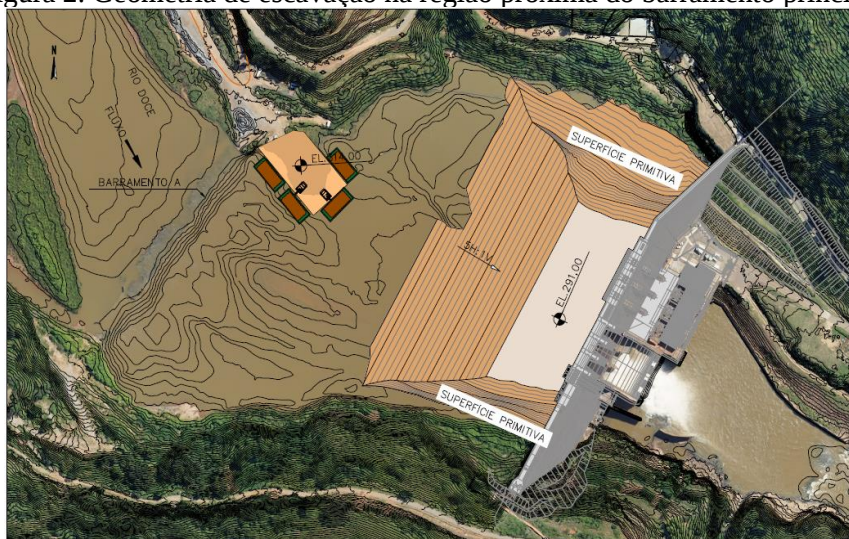
Além disso, a restauração ecológica é outra técnica eficaz, que envolve a reabilitação de áreas degradadas por meio do replantio de vegetação nativa, controle de espécies invasoras e recuperação de habitats. Hobbs e Harris (2001) destacam que essas práticas são fundamentais para restaurar a funcionalidade dos ecossistemas e promover a biodiversidade em regiões afetadas por intervenções humanas. Complementando essas iniciativas, o monitoramento ambiental contínuo é outra abordagem importante, permitindo a detecção precoce de alterações

no ambiente e a implementação de ações corretivas. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2014) enfatiza a importância do monitoramento para o gerenciamento adequado dos recursos naturais e a mitigação dos impactos ambientais.

A educação ambiental é fundamental para conscientizar a população sobre a importância da conservação e do uso sustentável dos recursos naturais. De acordo com Hines, Hungerford e Tomera (1987), a educação ambiental promove mudanças de comportamento que contribuem para a mitigação dos impactos ambientais. Juntas, essas técnicas de mitigação são cruciais para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas e minimizar os efeitos das atividades humanas sobre o meio ambiente.

A remoção de sedimentos também desempenha um papel fundamental na mitigação dos impactos ambientais. Um exemplo prático é o caso da usina hidrelétrica Risoleta Neves afetada pelo rompimento da barragem de Fundão. Nessa situação, foram realizados trabalhos de escavação na região próxima do barramento principal, conforme apresentado na Figura 2, esse processo incluiu a remoção dos primeiros 60m a montante, na cota +291,0m, removendo, aproximadamente, 450 mil m³ de sedimentos (AGNALDO, 2022), assegurando o cumprimento dos compromissos relativos ao retorno operacional da usina hidrelétrica Risoleta Neves.

Figura 2. Geometria de escavação na região próxima do barramento principal



Fonte: Araújo (2022)

O mecanismo adotado para a retirada dos sedimentos foi de forma mecânica com a utilização de *clamshell*, que consiste basicamente em um guindaste dotado de uma caçamba de mandíbulas, que pode ser acionada hidráulicamente ou através de cabos de aço, sendo instalado em uma balsa ou embarcação. O conjunto denominado de *Draga Grab*, é apoiado por batelões conforme apresentado na Figura 3, o sedimento é depositado e transportado até as margens.

Todo o transporte em terra do sedimento será realizado por caminhões com capacidade mínima de atender a demanda requerida pela operação da executora

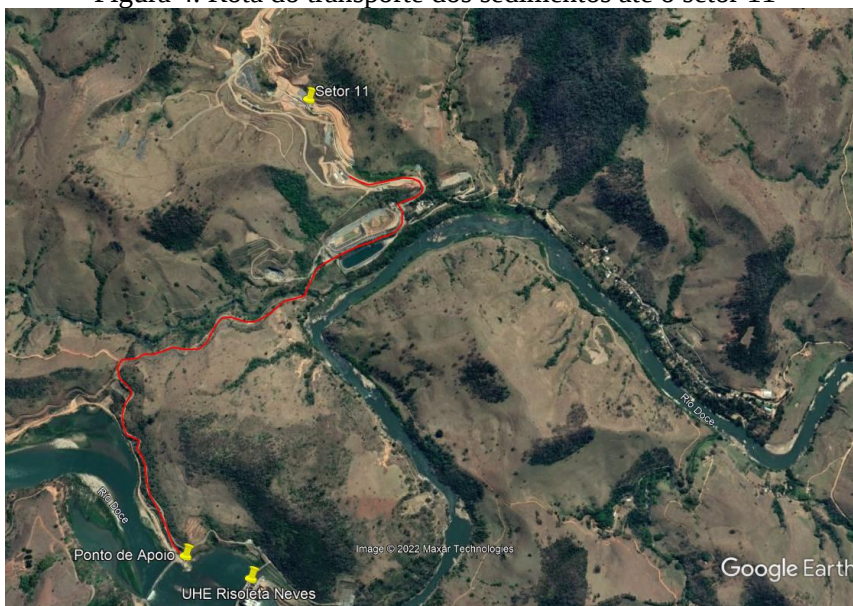
Figura 3. Dragagem *clamshell* sobre balsa com apoio de batelão



Fonte: Samarco Mineração S.A (2022)

O sedimento dragado do rio seguiu até uma ADP (área de desagüe primário), onde, após um período destinado à perda de água, ocorreu o tombamento para uma ASS (área de secagem secundária). Após mais um período de secagem foi submetido a disposição final (AGNALDO, 2022). A Figura 4 ilustra, em vermelho, a rota do transporte de sedimentos até o setor 11, área designada à disposição do rejeito retirado no lago, com distância de aproximadamente 3,3km.

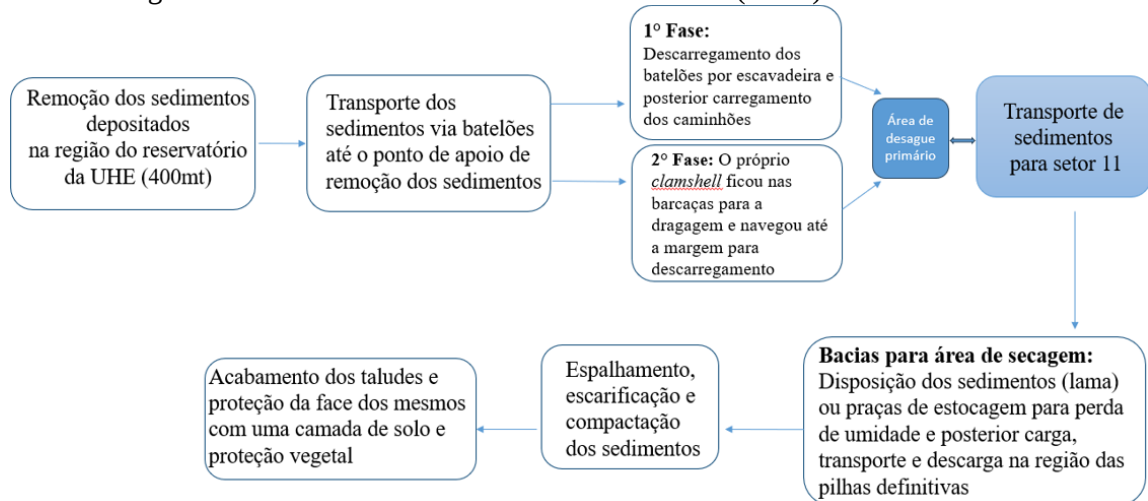
Figura 4. Rota do transporte dos sedimentos até o setor 11



Fonte: Samarco Mineração S.A (2022)

O transporte do material até o local final de destinação é apresentado na Figura 5.

Figura 5. Processo de retirada dos sedimentos UHE (400m) até o destino final



Fonte: Autora (2024)

Os sistemas automatizados de controle e monitoramento em tempo real possibilitaram uma gestão mais eficiente dos parâmetros operacionais, como profundidade de escavação e quantidade de material removido, o que aumentou a produtividade e reduziu o tempo necessário para concluir as obras, conforme apresentado na Figura 6. Essas inovações permitiram que a empresa de dragagem operasse com maior controle, diminuindo a necessidade de intervenção manual e erros operacionais.

Figura 6. Cronograma executivo

Id	EDT	EDT SAMARCO	Nome da Tarefa	Status	% Previsto	% Real	Duração Prevista	Início Previsto	Término Previsto	Início real	Término real	Tendência	Folga	Nov
1	1		SERVIÇOS DE REMOÇÃO DE SEDIMENTOS NO LAGO DA UHE RISOLETA NEVES, EM RIO DOCE - MG	Atrasada	100,00%	93,51%	222 dias	15/12/21	14/10/22	15/12/21	ND	15/02/23	96 dias	
2	1.1		MARCOS CONTRATUAIS	Atrasada	100,00%	0,00%	222 dias	15/12/21	14/10/22	15/12/21	ND	15/02/23	96 dias	
6	1.1.4		Início da operação de Remoção dos Sedimentos	Concluída	100,00%	100,00%	0 dias	04/04/22	04/04/22	07/03/22	07/03/22	07/03/22	-20 dias	
7	1.1.5		Dragagem acumulada de 150.000 m3 de Sedimentos	Concluída	100,00%	100,00%	0 dias	15/07/22	15/07/22	03/07/22	03/07/22	03/07/22	-9 dias	
8	1.1.6		Dragagem acumulada de 300.000 m3 de Sedimentos	Concluída	100,00%	100,00%	0 dias	15/08/22	15/08/22	25/09/22	25/09/22	25/09/22	30 dias	
9	1.1.7		Término da Dragagem de 450.000 m3 de Sedimentos	Atrasada	100,00%	0,00%	0 dias	14/09/22	14/09/22	ND	ND	09/12/22	66 dias	
10	1.1.8		Término do Contrato	No Prazo	#ERRO	0,00%	0 dias	14/10/22	14/10/22	ND	ND	15/02/23	96 dias	
11	1.2	D.C.1.5	MOBILIZAÇÃO	Concluída	100,00%	100,00%	122 dias	15/12/21	27/05/22	15/12/21	10/10/22	10/10/22	96 dias	
12	1.2.1	D.C.1.5	Mobilizar Canteiro de Obras	Concluída	100,00%	100,00%	35 dias	27/12/21	10/02/22	27/12/21	18/03/22	18/03/22	27 dias	
14	1.2.2	D.C.1.5	Mão-de-obra	Concluída	100,00%	100,00%	89 dias	15/12/21	14/04/22	15/12/21	22/06/22	22/06/22	51 dias	
15	1.2.2.1	D.C.1.5	Mobilizar mão-de-obra	Concluída	100,00%	100,00%	45 dias	15/12/21	10/02/22	15/12/21	10/02/22	10/02/22	0 dias	
16	1.2.2.2	D.C.1.5	Mobilizar mão-de-obra para montagem dos equipamentos	Concluída	100,00%	100,00%	9 dias	28/01/22	08/02/22	28/01/22	18/02/22	18/02/22	8 dias	
22	1.2.2.3	D.C.1.5	Mobilizar mão-de-obra para remoção com escavadeiras e apoio náutico	Concluída	100,00%	100,00%	26 dias	26/01/22	26/02/22	26/01/22	27/04/22	27/04/22	42 dias	
32	1.2.2.4	D.C.1.5	Mobilizar mão-de-obra para remoção com guindaste e clamshell	Concluída	100,00%	100,00%	20 dias	16/03/22	14/04/22	16/02/22	22/06/22	22/06/22	51 dias	
33	1.2.2.5	D.C.1.5	Mobilizar equipe batimetria	Concluída	100,00%	100,00%	11 dias	26/01/22	08/02/22	26/01/22	18/02/22	18/02/22	8 dias	
38	1.2.2.6	D.C.1.5	Mobilizar equipe de Salvatagem e apoio Nautico	Concluída	100,00%	100,00%	9 dias	03/02/22	15/02/22	28/01/22	31/03/22	31/03/22	33 dias	
44	1.2.3	D.C.1.5	Equipamentos (montagem e liberação)	Concluída	100,00%	100,00%	122 dias	15/12/21	27/05/22	15/12/21	10/10/22	10/10/22	96 dias	
45	1.2.3.1	D.C.1.5	83,	Concluída	100,00%	100,00%	3 dias	09/02/22	11/02/22	15/02/22	03/03/22	03/03/22	16 dias	
46	1.2.3.2	D.C.1.5	Mobilizar equipamentos de apoio náutico	Concluída	100,00%	100,00%	3 dias	16/02/22	18/02/22	24/02/22	26/02/22	26/02/22	7 dias	
47	1.2.3.3	D.C.1.5	Remoção com escavadeira embarcada	Concluída	100,00%	100,00%	62 dias	15/12/21	03/03/22	15/12/21	26/04/22	26/04/22	37 dias	
55	1.2.3.4	D.C.1.5	Remoção com guindaste embarcado	Concluída	100,00%	100,00%	122 dias	15/12/21	27/05/22	15/12/21	10/10/22	10/10/22	96 dias	
90	1.3		MANUTENÇÃO DE CANTEIRO	Concluída	100,00%	100,00%	155 dias	11/02/22	15/09/22	11/02/22	15/09/22	15/09/22	0 dias	
92	1.4	D.C.1.6	SERVIÇOS PRELIMINARES	Concluída	100,00%	100,00%	5 dias	09/02/22	15/02/22	11/02/22	30/04/22	30/04/22	55 dias	
95	1.5	D.C.1.6	REMOÇÃO DE SEDIMENTOS	Atrasada	100,00%	88,03%	119 dias	04/04/22	15/09/22	07/03/22	ND	08/12/22	65 dias	
96	1.5.1	D.C.1.6	Período "Chuvoso" (125.000 m³)	Atrasada	100,00%	82,33%	52 dias	04/04/22	14/06/22	07/03/22	ND	09/12/22	132 dias	
100	1.5.2	D.C.1.6	Período "Seco" (450.000 m³)	Atrasada	100,00%	92,33%	67 dias	15/06/22	15/09/22	15/06/22	ND	09/12/22	65 dias	
102	1.6	D.C.1.7	DESMOBILIZAÇÃO	Concluída	100,00%	100,00%	89 dias	15/06/22	14/10/22	08/12/22	15/02/23	15/02/23	96 dias	
103	1.6.1	D.C.1.7	Equipamentos	Concluída	100,00%	100,00%	89 dias	15/06/22	14/10/22	08/12/22	15/02/23	15/02/23	96 dias	
104	1.6.1.1	D.C.1.7	Desmobilizar equipamentos de remoção com escavadeira embarcada	Concluída	100,00%	100,00%	20 dias	15/06/22	12/07/22	08/12/22	15/02/23	15/02/23	165 dias	
105	1.6.1.2	D.C.1.7	Desmobilizar equipamentos de remoção com guindaste embarcado e clamshell	Concluída	100,00%	100,00%	15 dias	16/09/22	04/10/22	08/12/22	15/02/23	15/02/23	103 dias	
106	1.6.1.3	D.C.1.7	Desmobilizar equipamentos de apoio náutico	Concluída	100,00%	100,00%	7 dias	05/10/22	14/10/22	03/01/23	15/02/23	15/02/23	96 dias	
107	1.6.1.4	D.C.1.7	Desmobilizar demais equipamentos de apoios	Concluída	100,00%	100,00%	22 dias	16/09/22	14/10/22	08/12/22	15/02/23	15/02/23	96 dias	
108	1.6.2	D.C.1.7	Canteiro	Concluída	100,00%	100,00%	22 dias	16/09/22	14/10/22	08/12/22	15/12/22	15/12/22	48 dias	
109	1.6.2.1	D.C.1.7	Desmobilizar canteiro de obras	Concluída	100,00%	100,00%	22 dias	16/09/22	14/10/22	08/12/22	15/12/22	15/12/22	48 dias	

230215 - PTE-SAM-PLAN-RS-001.1 - CRONOGRAMA EXECUTIVO

Página 1

Data de Status: 15/02/23

Fonte: Castro (2023)

A análise comparativa entre projetos que utilizaram tecnologias inovadoras e aqueles que empregaram métodos tradicionais evidenciou que as inovações não apenas melhoraram a eficiência, mas também proporcionaram benefícios econômicos e ambientais. Projetos que integraram novas tecnologias relataram uma redução nos custos operacionais devido ao menor consumo de combustível e à redução de retrabalho causado por imprecisões (LOPES, 2014).

Observa-se na Figura 7, a lagoa onde ocorreu todo o processo, mais precisamente três meses após o enchimento. Nota-se resultados positivos da implementação da dragagem que foram essenciais para a retomada da geração de energia, bem como a mitigação de impactos ambientais e econômicos associados ao projeto.

Figura 7. Lagoa após três meses do enchimento



Fonte: Samarco Mineração S.A (2023)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a dragagem mecânica *clamshell* foi uma solução eficaz para a remoção dos rejeitos acumulados no reservatório da usina hidrelétrica Risoleta Neves, viabilizando a retomada da geração de energia após sete anos de inatividade. O projeto resultou na remoção de aproximadamente 450 mil m³ de sedimentos em 7 meses, período de execução eficiente. Essa técnica permitiu uma maior precisão nas operações, minimizando problemas como a dispersão de sedimentos e o uso excessivo de recursos.

Apesar dos resultados positivos, o processo gerou impactos ambientais significativos, como o aumento da turbidez da água e a possibilidade de liberação de contaminantes dos sedimentos. No entanto, a adoção de técnicas de mitigação como sistemas de monitoramento em tempo real, restauração ecológica e um plano de gestão ambiental atenuaram de forma eficaz esses efeitos, minimizando a dispersão de partículas e protegendo os ecossistemas aquáticos.

Estudos futuros podem focar na aplicação da dragagem mecânica *clamshell* em outros cenários semelhantes, avaliando sua eficiência em diferentes tipos de sedimentos, além de parcerias com universidades e instituições ambientais para caracterizar os sedimentos e monitorar o impacto ao longo dos anos. Tais iniciativas podem fortalecer a base científica e operacional dessa técnica, assegurando sua sustentabilidade em diversos contextos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNALDO, B. **Remoção dos sedimentos na região dos 400 metros** – Memorial Descritivo. p. 3, 2022.
- ARAUJO, O. **Novas bacias e empilhamentos – setor 11 – cenário 03 – Câmera de carga – planta**. 2022.
- 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, v. 46, 2021.
- BRANCO, D., *et al.* (2020). **Desafios e limitações da dragagem mecânica com concha: uma revisão**. Ciência e Tecnologia Ambiental, 15(4), 489-502.
- CASTRO, G. A. A. **Serviços de remoção de sedimentos no lago da UHE Risoleta Neves, em Rio Doce - MG, unidade candonga, estado de Minas Gerais** – Cronograma executivo. 2023
- CHIAPETTA, R. C. **Sediment removal techniques and their impact on port maintenance**. São Paulo: Editora Engenharia, 2000.

- CLARKE, D. G.; WILBER, D. H. **Assessment of turbidity reduction technologies for dredging operations**. Journal of Environmental Management, v. 58, n. 2, p. 159-170, 2000.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO: Caderno Técnico Dragagem**. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro/cadernos-tecnicos/3a-edicao/g19-dragagem.zip>>. Acesso em: 30 out. 2024.
- FINK, A. **Conducting research literature reviews: From the internet to paper**. Sage Publications, 2020.
- GUERRA, A. M.; OLIVEIRA, S. F.; FERREIRA, L. S. **Technological advancements in dredging operations: Challenges and opportunities**. Journal of Maritime Science and Technology, v. 27, n. 4, p. 417-430, 2019.
- HINES, W. H.; HUNGERFORD, H. R.; TOMERA, A. N. **Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: a meta-analysis**. The Journal of Environmental Education, v. 18, n. 2, p. 1-8, 1987.
- HOBBS, R. J.; HARRIS, J. A. **Restoration ecology: Repairing the Earth's ecosystems in the new millennium**. Restoration Ecology, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2001.
- IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. In: Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 2014.
- JONES, B. e BROWN, C. **Avaliação do impacto ambiental da dragagem em concha em comparação com a dragagem hidráulica**. Boletim de Poluição Marinha, 2019, 40(2), 210-225.
- KELLEN. **Samarco inicia remoção de sedimentos no reservatório de candonga**. Samarco Mineração. 2022. Disponível em: <<https://www.samarco.com/samarco-inicia-remocao-de-sedimentos-no-reservatorio-de-candonga/>>. Acesso em: 4 set. 2024.
- LOPES. **A importância da dragagem no cenário econômico nacional**. Marinha do Brasil, pág. 51, 2014. Disponível em: <<https://www.repositorio.mar.mil.br/bitstream/ripcmb/843994/1/0000029d.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2024.
- MENEZES, E. C.; RODRIGUES, A. P.; LIMA, V. C. **Operational efficiency in port dredging: A comparative analysis**. Journal of Coastal Engineering, v. 45, n. 3, p. 233-245, 2018.
- NAKAMURA, J. **Escavação com clamshell**. Postado por MP, 7 anos, ago, Postado em Notícias MP. Disponível em: <<https://mpterraplenagem.com.br/escavacao-com-clamshell/>>. Acesso em 26 out. 2024.
- PROJETO CANDONGA**. Disponível em: <<https://www.samarco.com/projeto-candonga/>>. Acesso em: 1 abr. 2024.

- RUKAVINA, N. A.; JEFFERIES, R. L. **The effects of dredging on water quality and aquatic biota: A review.** Canadian Journal of Civil Engineering, v. 7, n. 1, p. 21-32, 1980.
- SADLER, B. **The international study of the effectiveness of environmental assessment.** Environmental Impact Assessment Review, v. 16, n. 3, p. 191-203, 1996.
- SAMARCO MINERAÇÃO S.A. Acervo de imagens internas. 2022.
- SANTOS, M. L.; CARNEIRO, J. P. **Environmental management in port dredging operations.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2011.
- SILVA, M. R.; SOUZA, F. V.; GOMES, P. A. **Environmental impacts of sediment dredging in aquatic ecosystems.** Porto Alegre: UFRGS, 2013.
- SIMÕES, M. H. **Sistematização dos aspectos ambientais de dragagens portuárias marítimas no Brasil.** p. 141, 2009.
- SMITH, A., *et al.* (2018). **Análise de eficiência de operações de dragagem em concha.** Jornal de Engenharia Costeira, 25(3), 345-358.
- SOARES, C.R.L. 2006. **Avaliação do Processo de Dragagem por Injeção de Água em Estuários,** Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 126 p.