

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CAMPUS CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM

CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS

ALINE PEREIRA MOZER

**ESTUDO DE CASO DE ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS - NORMAS
CONSTRUTIVAS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS: PROJETO,
IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E FECHAMENTO**

CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM-ES

2020

ALINE PEREIRA MOZER

**ESTUDO DE CASO DE ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS - NORMAS
CONSTRUTIVAS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS: PROJETO,
IMPLANTAÇÃO OPERAÇÃO E FECHAMENTO**

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Engenharia de Minas do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Cachoeiro de Itapemirim, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: MSc. Gleicon Roberto de Sousa Maior.

CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM-ES

2020

(Biblioteca Carlos Drummond de Andrade do Instituto Federal do Espírito Santo)

M939e Mozer, Aline Pereira

Estudo de caso de aterro de resíduos industriais - normas construtivas em segurança de barragens: projeto, implantação operação e fechamento. / Aline Pereira Mozer. – 2020.

57 f.: il.; 30 cm

Orientador: Gleicon Roberto de Sousa Maior

Monografia (graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria do Curso de Engenharia de Minas, Curso de Engenharia de Minas, Cachoeiro de Itapemirim, 2020.

1. Beneficiamento de minérios. 2. Indústria mineral - Aspectos Ambientais. 3. Resíduos industriais. 4. Barragens de rejeitos.

I. Maior, Gleicon Roberto de Sousa. II. Instituto Federal do Espírito Santo.

CDD:622.7

ALINE PEREIRA MOZER

**ESTUDO DE CASO DE ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS - NORMAS
CONSTRUTIVAS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS: PROJETO,
IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E FECHAMENTO**

Trabalho de Conclusão do
Curso apresentada à
Coordenadoria do Curso de
Engenharia de Minas do
Instituto Federal do Espírito
Santo, Campus Cachoeiro de
Itapemirim, como requisito
parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de
Minas.

Aprovado em 20 de novembro de 2020

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Me. Gleicon Roberto de Sousa Maior

Instituto Federal do Espírito Santo

Orientador

Banca realizada a distância, via plataforma RNP, e acordo com o estabelecido
na Resolução nº1/2020 do Conselho Superior do Ifes

Valério Raymundo - Associação de Desenvolvimento Ambiental do Mármore e
Granito – ADAMAG

Coorientador

Banca realizada a distância, via plataforma RNP, e acordo com o estabelecido
na Resolução nº1/2020 do Conselho Superior do Ifes

Prof. Dr. Antônio Luiz Pinheiro

Banca realizada a distância, via plataforma RNP, e acordo com o estabelecido na Resolução nº1/2020 do Conselho Superior do Ifes

Prof. Marciel Zucoloto Pizetta

Instituto Federal do Espírito Santo

A minha mãe, minha Santa Luzia.

AGRADECIMENTOS

A todos os amigos companheiros de jornada que auxiliaram a caminhada até aqui ser um pouco menos árdua como Juliete Catein, Marciel Pizetta, Jéssica Tavares, Bruna Corrêa, Paulo José Mattos dentre tantos outros. Em especial, ao meu orientador Gleicon Maior, que como coordenador de curso e professor se mostrou um grande mentor para com seus alunos, sempre com um grande apoio emocional. Pude contar neste mestre um grande amigo sempre que precisei de forças nesta luta acadêmica, além da contribuição significativa profissional para toda a formação em minha graduação.

Ao corpo docente deste Instituto, que fazem jus as sábias palavras de Augusto Cury: “Professores brilhantes ensinam para uma profissão. Professores fascinantes ensinam para a vida.” Minha admiração afetuosa aos mestres Marcônio Magalhães, Arthur Maiolli, Lynderberg Campelo, Eliseu Campelo, Antônio Luiz Pinheiro, Paulo José Oliveira, Leandro Marochio Fernandes, Marckcilei Lima Dan, Luiz BUDA Bezerra, Ana Paula Meyer, Gilberto Rangel, Edmundo Rodrigues Júnior e Fabielle Castelan. Ao diretor geral do campus Sr. Edson Maciel Peixoto que sempre se dispôs a sanar dificuldades prontamente como aluna e sobretudo, com humanidade. Ao ilustre bibliotecário Ronald, meu companheiro de infindáveis horas de estudo. Vocês fizeram absolutamente toda a diferença em minha marcha acadêmica.

Ao Engenheiro Agrônomo Msc. Valério Raymundo, pela confiança da primeira oportunidade em desenvolver este e outros trabalhos em seu âmbito corporativo, pela grande generosidade em compartilhar a vasta experiência de 35 anos de profissão com os que estão iniciando a caminhada. Agradeço imensamente por cada orientação dada para este trabalho, para a profissão e para a vida, por cada dia de contínuo aprendizado.

A Associação de Desenvolvimento Ambiental do Mármore e Granito (ADAMAG), por me receber de braços abertos para a realização deste estudo. A cada colaborador em especial, por transformar cada dúvida em conhecimento. Cada teoria em experiência.

Ao meu amigo Leonardo Grassi, companheiro acadêmico e de trabalho, por toda contribuição na área de geoprocessamento com sua generosidade em

compartilhar seu valioso conhecimento, indispensável para a construção deste estudo.

Em especial, minha eterna gratidão a Deus, por usar cada uma destas e outras pessoas como canal de generosidade, força, oportunidade e inspiração para concluir este ciclo.

"Quando nada parece dar certo, vou ver o cortador de pedras martelando sua rocha talvez 100 vezes, sem que uma única rachadura apareça. Mas na centésima primeira martelada a pedra se abre em duas, e eu sei que não foi aquela que conseguiu isso, mas todas as que vieram antes" (Jacob Riis).

RESUMO

Devido a grandes acidentes envolvendo barragens de rejeitos de mineração no Brasil nos últimos anos, uma série de regulamentações se tornaram necessárias para que estes empreendimentos operassem em segurança. A elaboração, a redação, a alteração e a consolidação destas leis por vezes causam certa desarticulação entre os órgãos fiscalizadores, empreendedores e engenheiros responsáveis pelos projetos. Algumas barragens não obedecem aos critérios de certas classificações, portanto, não pode se aplicar as normas de forma generalizada para todos os empreendimentos de barragens. É o caso de barragens de aterros de resíduos industriais, para a destinação de lama de beneficiamento de rochas ornamentais, situados no Estado do Espírito Santo. Dessa forma, no que se refere às barragens, a Política Nacional de Segurança de Barragens atribui a responsabilidade legal pela segurança da barragem ao empreendedor, por outro lado, também podem responder de forma subsidiária, os órgãos fiscalizadores, em se comprovando a ação ou omissão, e que houve culpa ou dolo por parte desses órgãos e que a conduta da administração pública concorreu para o resultado danoso. Na iminência de possíveis sanções ao descumprimento de novas legislações, foi levantado este estudo para elucidar se estas barragens de aterros industriais poderiam ser incluídas ou descartadas das novas regulamentações construtivas de segurança de barragens e quais órgãos responsáveis por este empreendimento.

Palavras-chave: Barragens. Segurança. Aterros. Rochas. Leis.

ABSTRACT

Due to major accidents involving mining tailings dams in Brazil in recent years, a number of regulations become necessary for these ventures to operate safely. The formulation, writenning, alteration and consolidation of these laws sometimes cause some disarticulation among supervisory bodies, entrepreneurs and engineers responsible for the projects. Some dams do not meet the criteria of certain classifications, therefore, norms cannot be applied in a generalized way for all dam projects. It is the case of industrial waste dams landfills, for the disposal of sludge from ornamental rocks processing, located in the State of Espírito Santo. Thus, with regard to dams, the National Dam Safety Policy assigns the legal responsibility for dam safety to the entrepreneur, on the other hand, the supervisory bodies may also respond in a subsidiary manner, if the action or omission be proved , and that there was guilt or deceit on the part of these bodies and that the conduct of the public administration contributed to the harmful result. In the imminence of possible sanctions for noncompliance with new legislation, this study was carried out to clarify whether these industrial landfill dams could be included or discarded from the new constructive dam safety regulations and which bodies are responsible for this undertaking.

Keywords: Dams. Safety. Landfills. Rocks. Laws.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO GERAL	14
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	O BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS	17
3.1.1	Sistema de disposição de rejeitos	18
3.2	O BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS	26
3.2.1	Classificação da LBRO	29
3.2.2	Gerenciamento de Resíduos	30
3.3	ENCERRAMENTO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO	33
4	METODOLOGIA	36
4.1	ESTUDO DE CASO	36
4.1.1	Estudo do fluxo hídrico local	37
4.1.2	Poços de monitoramento	37
4.1.3	Potenciometria	40
4.1.4	Sistemas de drenagem	43
4.1.5	Outros estudos exigidos	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1	PROPOSTA I – PROJEÇÃO FINAL DE MONTANTE	45
5.2	PROPOSTA II – PROJEÇÃO DE JUSANTE	50
6	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO) tem sua definição, segundo a Instrução Normativa (IN) do Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Iema) nº 11 de 11 de outubro de 2016, como “resíduo sólido não perigoso – Classe II, resultante dos processos basicamente composto de pó de rocha com ou sem elementos abrasivos e demais insumos do processo de beneficiamento”.

Para uma correta destinação dos resíduos sólidos provenientes das indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais, é necessário reputar diversas leis e normatizações tanto na esfera federal quanto estadual. São essas leis que caracterizarão, classificarão e padronizarão a destinação adequada dos resíduos sólidos industriais.

O presente trabalho apresenta o estudo de caso do aterro de destinação de resíduos sólidos industriais não perigosos da Associação de Desenvolvimento Ambiental do Mármore e Granito (ADAMAG) a qual está sendo construída a segunda área de deposição de LBRO localizada em Cachoeiro de Itapemirim, ES com área de 201.883 m².

No decorrer do estudo serão levantadas as normas construtivas, de projeto, implantação e operação embasados em legislações federais e estaduais de extrema importância, como a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 313, de 29 DE Outubro de 2002, que implementa a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a lei federal nº 12.334 de 20 de Setembro de 2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens, Instrução Normativa nº 11 de 11 de Outubro de 2016 que rege a construção e operação de um aterro industrial de Lama de LBRO e demais legislações que serão citadas no decorrer deste estudo que devem ser consideradas para o projeto de um aterro industrial de LBRO para diferenciá-lo de uma barragem de mineração.

2 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem a finalidade de sintetizar sobre normas de segurança em construção de barragens ao entendimento jurídico, tão discutido atualmente devido aos recentes eventos destrutivos no setor de mineração no cenário nacional. Por esta razão, por muitas vezes a aplicação da lei fica confusa para os profissionais da engenharia na implantação de projetos, por não compreenderem quais normas devem seguir exatamente, por estas passarem por constantes alterações em suas regulamentações aplicadas às barragens. Dessa forma, foi levantado um estudo de caso a um aterro de resíduos industriais, destinado ao armazenamento final de LBRO, que se encontra na fase de projeto e licenciamento. Esta tipologia de empreendimento é comum no estado do Espírito Santo, pois a região, em especial a Sul, destaca-se mundialmente por ser um polo do beneficiamento de rochas ornamentais. Consequentemente, esse título traz consigo a geração de um grande volume desse resíduo, necessitando assim de locais licenciados adequadamente para sua destinação. Em função dessa necessidade, este trabalho levanta a importância de se atentar para os diferentes tipos de barragens existentes no Brasil, para a devida aplicação das normas mais assertivas para as nossas barragens locais.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar os dados dos trabalhos já realizados na área em estudo;
- Realizar a revisão bibliográfica e jurídica da destinação final da LBRO em aterros industriais, embasada na Legislação Federal e Estadual referente ao gerenciamento de resíduos sólidos para seu desenvolvimento e operação;
- Efetuar a projeção final do aterro de LBRO de acordo com as normas construtivas, a segurança de barragens de resíduos sólidos industriais não perigosos e o seu desenvolvimento sustentável;
- Projetar o fechamento do aterro industrial.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Paniago (2018), os órgãos fiscalizadores foram subdivididos na Lei em função do seu uso e tipo de rejeitos/efluentes armazenados. Desta forma, cada órgão fiscaliza cada tipo de barragem e suas nuances.

A Agência Nacional das Águas (ANA) é responsável pela fiscalização das barragens de usos múltiplos que ela tenha outorgado o direito de uso dos recursos hídricos quando o objeto for acumulação de água e aquelas que sejam outorgáveis por ela, exceto para aproveitamento energético. Ela, autarquia sob regime especial responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e entidade outorgante do uso dos recursos hídricos de corpos d'água de domínio da União.

Com a Lei nº 12.334/2010, teve incorporadas as competências de órgão fiscalizador da segurança das barragens de acumulação de água por ela outorgáveis, exceto daquelas cujo uso preponderante seja a geração hidrelétrica, e suas específicas obrigações, além das atribuições de: organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens - SNISB; promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens; e coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens e encaminhá-lo, anualmente, ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) de forma consistente.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável pela fiscalização das barragens com fins de geração hidrelétrica, sendo ela a entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico nesta situação. Ela, autarquia sob regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que tem por finalidade regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, tendo, dentre outras, as atribuições de implementar as políticas e diretrizes do governo federal para a exploração da energia elétrica e o aproveitamento dos potenciais hidráulicos, e promover, mediante delegação, os procedimentos licitatórios para a contratação de concessionárias e permissionárias de serviço público para produção, transmissão e distribuição de energia elétrica e para a outorga de concessão para aproveitamento de potenciais hidráulicos. Com a Lei nº 12.334/2010, teve incorporadas as competências de órgão fiscalizador da segurança das

barragens cujo uso preponderante seja a geração hidrelétrica e suas inerentes obrigações.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) é responsável pela fiscalização das barragens de resíduos industriais, sendo ela a entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação para este fim. Os órgãos ambientais estaduais de alguns estados assumiram esta atribuição por subdelegação. Ele, autarquia federal, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de: exercer o poder de polícia ambiental, executar ações das políticas nacionais de meio ambiente, referentes às atribuições federais, relativas ao licenciamento ambiental, ao controle da qualidade ambiental, à autorização de uso dos recursos naturais e à fiscalização, monitoramento e controle ambiental, observadas as diretrizes emanadas do Ministério do Meio Ambiente; e executar as ações supletivas de competência da União em conformidade com a legislação ambiental vigente. Com a Lei nº 12.334/2010, teve incorporadas as competências de órgão fiscalizador da segurança das barragens de acumulação de resíduos industriais, licenciadas pelo próprio Ibama, e suas inerentes obrigações.

A Agência Nacional de Mineração (ANM) é responsável pela fiscalização das barragens de mineração, sendo a entidade outorgante de direitos minerários para fins de disposição final ou temporária destes rejeitos. Autarquia federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), que tem por finalidade promover o planejamento e o avanço da exploração e do aproveitamento dos recursos minerais, e superintender as pesquisas geológicas, minerais e de tecnologia mineral, bem como assegurar, controlar e fiscalizar o exercício das atividades de mineração em todo o território nacional, na forma que dispõe o Código de Mineração, o Código de Águas Minerais, os respectivos regulamentos e a legislação que os complementa, tendo, dentre outras, a atribuição de promover a outorga, ou propô-la à autoridade competente, quando for o caso, dos títulos minerários relativos à exploração e ao aproveitamento dos recursos minerais, e expedir os demais atos referentes à execução da legislação minerária. Com a Lei nº 12.334/2010, teve incorporadas as competências de órgão fiscalizador da segurança das barragens de acumulação de rejeitos de mineração e suas inerentes obrigações.

Diante ao cenário de constantes mudanças jurídicas e de competências, foi levantada uma revisão bibliográfica e jurídica para afinal, rever a quem compete a fiscalização do setor de aterro industrial de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais do Espírito Santo, para ser esclarecido o tipo de método construtivo que este deverá obedecer no âmbito nacional para garantir a segurança e estabilidade destas estruturas de empreendimento mineiro.

3.1 O BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram), o minério é uma associação de minerais rico em um determinado mineral ou elemento químico que é economicamente e tecnologicamente viável para extração. Elementos extrativos que contêm minerais úteis em proporções apreciáveis e que exigem elaboração especial para serem aproveitados na indústria. O portal da ANM de Pernambuco admite que um mineral pode, durante uma certa época e em função de circunstâncias culturais, tornar-se um minério, podendo em seguida, desde que substituído por outros produtos naturais ou sintéticos, perder a sua importância econômica e voltar a ser um simples mineral.

É importante o destaque na distinção entre as tipologias de minérios metálicos e não metálicos, segundo o Ibram (2016), a geração de rejeitos e estéreis não são equivalentes. A mineração dos não metálicos é potencialmente geradora de estéreis, sendo que, os rejeitos de metálicos são gerados na transformação mineral, que se notabiliza por ser a sequência da cadeia produtiva da mineração. Uma barragem de rejeito é uma estrutura de terra construída para armazenar resíduos de mineração, os quais são definidos como a fração estéril produzida pelo beneficiamento de minérios, em um processo mecânico e/ou químico que divide o mineral bruto em concentrado (útil) e rejeito (sem interesse). O rejeito é um material que não possui maior valor econômico, mas deve ser devidamente armazenado para medidas de proteção ambientais (WERNECK, 2019).

3.1.1 Sistema de disposição de rejeitos

A disposição de rejeitos em reservatórios criados por diques de contenção ou barragens é o método mais comumente operado. Estas barragens ou diques podem ser de solo natural ou podem ser construídos com os próprios rejeitos, sendo classificados, neste caso, como barragens de contenção alteadas com rejeitos e as de solo natural como barragens convencionais. Segundo dados do IBRAM, muitos rejeitos são transportados para a área de disposição com um alto teor de água (10% a 25% de sólidos).

Entre os métodos de disposição, as barragens de contenção de rejeitos ainda são as mais usadas. Essas barragens, como dito anteriormente, podem ser construídas utilizando-se solos, estéreis ou mesmo o próprio rejeito. De acordo com Davies e Martin (2000) *Apud* Rodrigues (2017), o grande volume de rejeitos gerados, condicionados aos custos da disposição, faz com que seja interessante utilizar estes materiais na construção das próprias barragens de contenção, desde que sejam obedecidas algumas premissas, tais como:

- a) Separação da fração grossa e fina (as propriedades geotécnicas são diferentes entre as frações);
- b) Controle dos processos de separação (granulometria);
- c) Utilização de sistemas de drenagens eficientes, compactação dos rejeitos (aumento da densidade e da resistência);
- d) Proteção superficial da barragem, dentre outras.

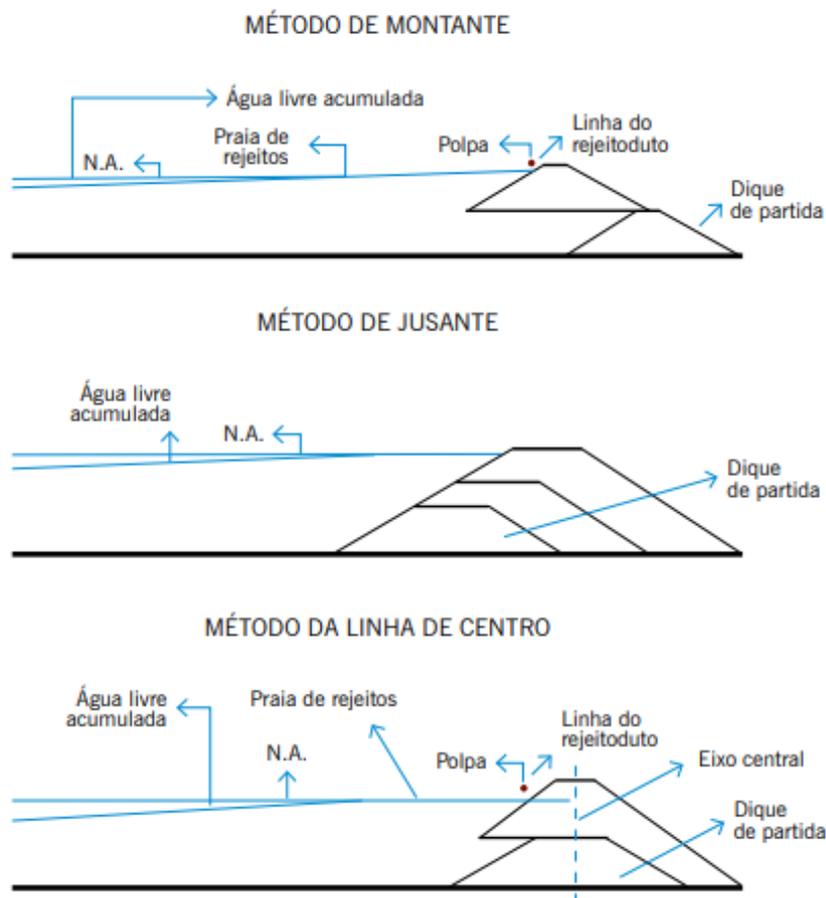
“As barragens de contenção de rejeitos são estruturas construídas ao longo do tempo visando à diluição dos custos no processo de extração mineral, por meio de alteamentos sucessivos” (Ibram, 2016). Assim, um dique de partida é construído inicialmente e a barragem passa por alteamentos ao longo de sua vida útil, podendo ser construídas com material compactado proveniente de áreas de empréstimo, ou com o próprio rejeito, através de três métodos:

- a) Montante;
- b) Jusante;
- c) Linha de centro.

Os métodos de alteamento por montante e pela linha de centro têm vantagens econômicas, pois apresentam redução do ônus de implantação e têm o custo de construção e o custo operacional distribuídos no tempo. Entretanto, têm na água

dos poros do rejeito e do reservatório o principal elemento estabilizador. A figura 1 a seguir mostra brevemente os três métodos:

Figura 1 - Tipos de alteamentos de uma barragem de rejeitos



Fonte: Ibram (2016).

De acordo com Araújo (2006) *Apud* Sabbo (2017), o método de montante é o mais antigo, simples e econômico para a construção de barragens. A etapa inicial na execução desse tipo de barragem consiste na construção de um dique de partida, normalmente de material argiloso ou enrocamento compactado. Após realizada esta etapa, o rejeito é lançado por canhões em direção à montante da linha de simetria do dique, formando assim, a praia de deposição, que se tornará a fundação e eventualmente fornecerá material de construção para o próximo alteamento. Este processo continua, sucessivamente, até que a cota final prevista em projeto seja atingida. De acordo com Troncoso (1997) *Apud* Araújo (2006), o método de montante para alteamento de barragens de rejeito é o mais econômico em curto prazo, pois permite obter a menor relação entre volumes de areia / lama. O método de montante apresenta um baixo controle construtivo,

embora seja o mais utilizado pela maioria das mineradoras, tornando-se crítico principalmente em relação à segurança. Neste caso, o agravante está ligado ao fato de os alteamentos serem realizados sobre materiais previamente depositados granulares e fofos, não consolidados. Assim, sob condição saturada e estado de baixa compacidade, estes rejeitos tendem a apresentar baixa resistência ao cisalhamento e suscetibilidade à liquefação¹ por carregamentos dinâmicos e estáticos. Nesse método construtivo ainda existe uma dificuldade na implantação de um sistema interno de drenagem eficiente para controlar o nível d'água dentro da barragem, constituindo um problema adicional com reflexos na estabilidade da estrutura.

No método de jusante, a etapa inicial consiste na construção de um dique de partida, geralmente de solo ou enrocamento compactado, em que os alteamentos subsequentes são realizados para jusante do dique de partida. Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida. Segundo Klohn (1981) *Apud* Araújo (2006), as vantagens envolvidas no processo de alteamento para jusante consistem no controle do lançamento e da compactação, de acordo com técnicas convencionais de construção. Nenhuma parte ou alteamento da barragem é construída sobre o rejeito previamente depositado, além disso, os sistemas de drenagem interna podem ser instalados durante a construção da barragem e prolongados durante seu alteamento, permitindo o controle da linha de saturação na estrutura da barragem e aumentando sua estabilidade. A barragem também pode ser projetada e construída apresentando a resistência necessária ou requerida, inclusive resistir a qualquer tipo de forças sísmicas, desde que projetadas para tal, já que há a possibilidade de atendimento integral das especificações de projeto. Entretanto, barragens alteadas pelo método de jusante necessitam de maiores volumes de material para construção, apresentando maiores custos associados ao processo de ciclonagem ou ao empréstimo de material. Além disto, com este método, a área ocupada pelo sistema de contenção de rejeitos é muito maior, devido ao

¹A liquefação descreve o comportamento de solos granulares saturados que, quando carregados, repentinamente sofrem uma transição de um estado sólido para um estado líquido, ou ficam com a consistência de um líquido grosso. Ocorre o decréscimo das poropressões com a conseqüente redução das tensões efetivas e da resistência ao cisalhamento.

progresso da estrutura para jusante (área para fora do barramento) em função do acréscimo da altura.

Barragens alteadas pelo método de linha de centro apresentam uma solução intermediária entre os dois métodos citados anteriormente, apresentando vantagens dos dois métodos anteriores, tentando minimizar suas desvantagens. Segundo Assis e Espósito (1995) *Apud* Araújo (2006), o comportamento geotécnico do método de linha de centro se assemelha mais a barragens alteadas para jusante, caracterizando uma variação deste método, onde o alteamento da crista é realizado de forma vertical, sendo o eixo vertical dos alteamentos coincidente com o eixo do dique de partida.

Neste método, torna-se possível a utilização de zonas de drenagem internas em todas as fases de alteamento, o que possibilita o controle da linha de saturação e promove uma dissipação de poropressões, tornando o método apropriado para utilização inclusive em áreas de alta sismicidade. Segundo Araújo (2006), a escolha de um ou outro método de execução irá depender de uma série de fatores, tais como: tipo de processo industrial, características geotécnicas e nível de produção de rejeitos, necessidade de reservar água, necessidade de controle de água percolada, sismicidade topografia, hidrologia, hidrogeologia e custos envolvidos. No entanto, como as barragens alteadas pelo método de montante vieram se mostrando de maior facilidade de execução e mais economicamente viáveis, eram as preferencialmente adotadas pelas empresas mineradoras, até a publicação da Resolução nº 4, de 15 de fevereiro de 2019, que proibiu a construção de barragens pelo método de montante, assim como alteamentos por este método ou qualquer outro considerado desconhecido.

É fundamental compreender as legislações que abrangerão o projeto para que ações sejam incluídas ou excluídas. Hierarquicamente, buscou-se primeiramente Leis federais que compreendem esta área para nortear o presente estudo. Em face desta revisão bibliográfica legislativa, sobressai a Lei Federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), destinada a barragens que acumulem água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos, à acumulação de resíduos industriais e também cria juntamente o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), alterando consigo alguns artigos de outras Leis Federais referentes à mineração:

Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

- I- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 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 perdas de vidas humanas, conforme definido no art. 6º (artigo 1º da PNSB).

A PNSB, além de estabelecer quais tipos de reservatórios são compreendidos pela Lei 12.334, também delega quais órgãos serão responsáveis por sua fiscalização:

A fiscalização da segurança de barragens caberá, sem prejuízo das ações fiscalizatórias dos órgãos ambientais integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA:

- I- à entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, observando o domínio do corpo hídrico, quando o objeto for de acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico;
- II- à entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico, quando se tratar de uso preponderante para fins de geração hidrelétrica;
- III- à entidade outorgante de direitos minerário para fins de disposição final ou temporária de rejeitos;
- IV- à entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação para fins de disposição de resíduos industriais (artigo 5º da PNSB).

A PNSB de 2010 tornou-se um marco na história, pois, segundo Paniago (2018), na estrutura jurídica-institucional de recursos hídricos brasileira da época anterior a promulgação da Lei 12.334/2010, não havia indicação direta de responsabilidades pela fiscalização da segurança de barragens no âmbito nacional. Órgãos ambientais trabalhavam de forma isolada e de forma desarticulada do poder para lidar com os acidentes. Tendo em vista que a preocupação com as barragens passa desde sua concepção até sua manutenção e descomissionamento², ressalta-se a importância da atenção do Estado à questão de Segurança de Barragens:

“Não só devido à falta de cuidados, mas, também, ao envelhecimento natural das barragens, chegou-se a uma situação que precisa ser de imediato corrigida, sob o risco de causar elevados prejuízos à sociedade e ao patrimônio nacional. Somente com um grande esforço de melhoria da gestão da segurança, as barragens poderão atender às

²Descomissionar significa deixar de ser barragens. São esvaziadas ou integradas ao meio ambiente.

necessidades da população, sem representarem fonte permanente de riscos inaceitáveis. Outro aspecto a ser considerado é que a implantação de um Sistema Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos não se completará sem a elaboração e implementação de um sistema de gestão da segurança de barragens, que garanta sua operação com níveis aceitáveis de risco para a população e para o meio ambiente. Assim, fazendo-se um paralelo com a recente crise econômica mundial, pode-se observar que, de forma similar à regulação do sistema financeiro, a regulação da gestão da segurança de barragens precisa de um forte controle do Estado. A exemplo do que se observa no mercado financeiro, a prática demonstra que os proprietários e os órgãos concedentes estão sendo incapazes de criar mecanismos auto fiscalizatórios para que a questão da segurança seja tratada de forma adequada. Além disso, o tema envolve segurança pública, o que, pela Constituição Federal, é um assunto que necessita de intervenção do Estado” (MENESCAI, 2009 *Apud* PANIAGO, 2018).

Desta forma, instituíram-se mais regimentos após 2010 com a finalidade de promover maior rigor participativo do Estado brasileiro e aumentar a exposição de níveis de riscos relevantes para a sociedade, visto que acidentes com barragens geram muitos problemas econômicos e sociais, além de eventuais perdas de vidas, considerando os recentes rompimentos de barragens de mineração como da Barragem de B1 da Mina Retiro do Sapecado, em 10 de setembro de 2014, localizada no Município de Itabirito, Estado de Minas Gerais; da Barragem de Fundão da Mina Germano, em 5 de novembro de 2015, localizada no município de Mariana, Estado de Minas Gerais; e da Barragem B1, da mina Córrego do Feijão, em 25 de janeiro de 2019, no município de Brumadinho, Estado de Minas Gerais.

Para Paniago (2018), dentre outros motivos que levaram a mobilização de esforços para elaboração e aprovação da Lei 12.334/2010, foi o estado geral de abandono de centenas de barragens brasileiras, com vulnerabilidades não aparentes em projetos, construção e operação das estruturas existentes. Como exemplo, as barragens no Nordeste, que eram projetadas para aproveitamento máximo do vale, formando grandes reservatórios de água para dessedentação animal, consumo humano, irrigação e secundariamente, a geração de energia, como o Açude de Orós, construído para represar o Rio Jaguaribe, na região do sertão cearense. Posteriormente, nas décadas de 70 e 80 foram construídos grandes empreendimentos de barragens, em sua grande maioria para uso múltiplo. Na década de 70, formularam-se muitos projetos e executaram-se obras de barragens, com ênfase para a geração de energia, como a Usina Hidrelétrica - UHE de Sobradinho, Tucuruí, Itaipu e Balbina. Desta forma,

diversos projetos de mineração se alavancaram na época com barragens de rejeitos de mineração inseridos nesta circunstância.

Posteriormente regulamentação da Lei nº 12.234/2010, seguiram-se edições de pontos específicos sobre a matéria, como:

- a) Resolução CNRH nº 143/2012, que trouxe um sistema de classificação por categoria de risco, dano potencial associado e volume para as barragens;
- b) Resolução CNRH nº 144/2012, que 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;
- c) Portaria DNPM nº 416/2012, que criou o sistema de cadastro de barragens de mineração.

Paniago (2018) relata que um dos grandes desafios da regulamentação da Lei 12.334/2010 pela ANM foi adequar a definição de barragens e reservatórios à realidade da mineração. A rigor, a ANM raramente fiscalizará uma “barragem”, já que barragem, pela definição desta Lei Federal em seu artigo segundo, inciso I, é definida como “qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”. Em seu inciso II define reservatório como “acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos”. Sendo coerente com a PNSB, a Agência Nacional de Mineração – ANM então fiscalizaria reservatórios. Porém algumas estruturas no domínio da mineração ficariam fora desta fiscalização, como cavas exauridas com barramentos construídos, por exemplo. Em 2017 então, a ANM cria a Portaria Nº 70.389, de 17 de Maio de 2017, criando o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelecendo 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, as Inspeções de Segurança Regular e Especial, a Revisão Periódica de Segurança de Barragem e o Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração. Nesta Portaria, a ANM explicita sua atribuição de fiscalização em suas considerações:

“...compete ao DNPM, no âmbito de suas atribuições, fiscalizar as atividades de pesquisa e lavra para o aproveitamento mineral e a segurança das barragens destinadas à disposição de rejeitos resultantes destas atividades, desenvolvidas com base em títulos outorgados pela própria autarquia e pelo Ministério de Minas e Energia – MME”.

Para elucidar se o aterro industrial em estudo seria compreendido pela PNSB, foi levantada uma série de questionamentos jurídicos e práticos, pois há algumas contraposições em normas construtivas para sua inclusão. A principal e mais recente fundamentação foi instituída pelo Ministério de Minas e Energia por meio de sua Agência Nacional de Mineração (ANM), através da Resolução nº 4, de 15 de fevereiro de 2019, que estabelece a proibição da construção de novas barragens e alteamentos pelo método “a montante” ou método declarado como desconhecido em toda barragem de mineração com o objetivo de garantir a segurança e a estabilidade das estruturas. A resolução também implica na descaracterização ou descomissionamento das barragens já construídas em todo território nacional até agosto de 2021.

Porém, seria um aterro de resíduos industriais de Lama de Beneficiamento de Rochas Ornamentais, uma barragem de mineração? Esse é um questionamento que perdura para muitos especialistas dentro do próprio setor de segurança de barragens no território nacional, sendo obscuro ainda para a legislação estadual ou federal o comparativo e seu enquadramento de forma clara e jurídica, pois nota-se no Brasil uma problemática de natureza organizacional que está sendo melhor elucidada nos últimos anos.

Por esse fato, para Paniago (2018), a definição coerente, assertiva e correta de o que seriam as “Barragens de Mineração”, foi um trabalho minucioso e cuidadoso elaborado pela ANM, com a finalidade de abarcar todas as estruturas existentes na mineração, excluindo os aterros industriais:

“Barragens de Mineração: barragens, barramentos, diques, cavas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, construídos em cota superior à da topografia original do terreno, utilizados em caráter temporário ou definitivo para fins de contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos de mineração ou de sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas, excluindo-se deste conceito as barragens de contenção de resíduos industriais” (artigo segundo, inciso II da Portaria nº 70.389, de 17 de Maio De 2017).

A Portaria nº 70.389 teve alguns de seus artigos revogados pela Resolução ANM nº 32/2020, porém, o inciso II do artigo segundo permaneceu inalterado. Como esta regulamentação exclui contenções de resíduos industriais, atenta-se para a legislação desta categoria com a intenção de esclarecer sobre esta estrutura.

3.2 O BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

A produção brasileira de materiais rochosos naturais, para ornamentação e revestimento, foi estimada pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (Abirochas) em 9 milhões de toneladas no ano de 2018, retrocedendo 2,6% comparado a 2017. Essa produção inclui granitos, pegmatitos e várias outras rochas silicáticas, além de mármore, travertinos, ardósias, quartzitos maciços e foliados, basaltos e gabros, serpentinitos, pedra sabão e pedra-talco, calcários, metaconglomerados polimíticos e oligomíticos, cherts, arenitos, xistos diversos, etc. Assume-se a existência de pelo menos 1.500 frentes ativas de lavra de rochas ornamentais, sempre a céu aberto e quase sempre em maciços, responsáveis por mais de 1.200 variedades comerciais de rochas colocadas nos mercados interno e externo.

Segundo dados da Abirochas, as marmorarias representam mais de 60% das empresas do setor, que é, aliás, majoritariamente formado por micro e pequenas empresas. O parque brasileiro de beneficiamento tem capacidade instalada, de serragem e polimento de chapas, para cerca de 87 milhões de m² por ano, a partir de rochas extraídas em blocos, caracterizadas por gerarem a maior parte dos denominados produtos de processamento especial. Esta capacidade é acrescida de mais 50 milhões de m² por ano em produtos de processamento simples, obtidos principalmente a partir de rochas portadoras de planos naturais de deslocamento (ardósias, quartzitos e gnaisses foliados, calcários e basaltos plaqueados, etc.). O perfil do parque brasileiro de beneficiamento primário indica uma nítida preferência para o corte/serragem de chapas grandes, envolvendo os referidos teares multilâmina convencionais, os teares multilâmina diamantados e uma participação já dominante de teares multifio diamantados. Conforme se pode observar na Tabela 1, é muito pequena a capacidade de serragem baseada na tecnologia de talha-blocos multidisco, que deverá ser incrementada com a ampliação das exportações brasileiras de produtos acabados. Acredita-se que até 2025, visando ao atendimento dos mercados interno e externo, a capacidade

brasileira de serragem poderá superar 100.000 m² por ano, com cerca de 80% dessa capacidade representada por teares multifio diamantados. Registra-se, a propósito, que os estimados 625 teares multilâmina de aço ainda operantes no Brasil em 2017, poderiam ser substituídos por não mais de 150 teares multifio diamantados, considerando-se os modelos de até 80 fios já ofertados no mercado, por 50 teares multilâmina diamantados e por até 50 talha-blocos. A tabela 1 a seguir mostra a quantidade de empresas de marmorarias e sua participação no setor de rochas brasileiro, comparados com os demais setores produtivos:

Tabela 1 - Empresas do setor de Rochas Ornamentais Operantes no Brasil - 2017

Segmento	Nº estimado de empresas	Participação
Marmoraria	6.100	61,0%
Beneficiamento	2.000	20,0%
Lavra	1.000	10,0%
Exportadoras	400	4,0%
Serviços	300	3,0%
Depósitos de chapas	100	1,0%
Indústrias de máquinas, equipamentos e insumos	100	1,0%
Total	10.000	100%

Fonte: Abirochas (2018).

A maior parte das atividades de lavra e beneficiamento primário concentra-se em arranjos produtivos locais, como os de mármore e granitos do Espírito Santo, de ardósias e quartzitos foliados de Minas Gerais, de gnaisses foliados do Rio de Janeiro, de basaltos plaqueados do Rio Grande do Sul, de travertinos da Bahia, de calcários plaqueados do Ceará, etc. Os estados da região Sudeste do Brasil, com destaque para o Espírito Santo que tem a maior quantidade de teares, contribuiu com sua capacidade de serragem em cerca de 70% do território nacional em 2017 como mostra a tabela 2:

Tabela 2 - Capacidade de serragem de chapas do Espírito Santo no parque brasileiro

UF	Teares Multilâmina de Aço Operantes	Teares Multifio Diamantados	Teares Multilâmina Diamantados	Talha-Blocos Multidisco	Capacidade de Serragem (10 ⁶ m ² /ano)
Espírito Santo	500	290	16	6	70,0 (78%)
São Paulo	10	6	-	-	
Rio de Janeiro	6	4	-	-	
Paraná	4	2	1	-	
Minas Gerais	12	1	4	-	
Rio Grande do Sul	8	2	-	-	
Bahia	14	2	25	6	3,8 (4,4%)
Ceará	30	6	-	6	3,0 (3,4%)
Pernambuco	4	1	-	-	
Santa Catarina	4	5	-	-	
Alagoas	6	-	-	-	
Pará	2	-	-	-	
Paraíba	7	1	-	2	
Goiás	3	-	-	-	
Rio Grande do Norte	5	-	1	2	

Fonte: Abirochas (2018).

O beneficiamento, basicamente, compreende a serragem de blocos de grandes dimensões (em torno de 10 m³) em chapas de espessura variável (normalmente entre 1,5 e 3 cm) e o posterior tratamento das superfícies das chapas (polimento com ou sem aplicação de resinas, apicoado, escovado e outros). Cerca de 500 kg/m³ de resíduos finos são gerados na serragem dos blocos e em torno de 100 kg/m³ no polimento. Esses resíduos constituem a LBRO que contém, principalmente: água, pó de rocha, granalha, resíduos de lâmina de aço, cal e bentonita que, atualmente, não são aproveitados pela indústria (CAMPOS *et al.*, 2014 *Apud* ABIROCHAS 2018).

Segundo Araújo (2006), uma parcela das empresas de marmoraria contribui com o tratamento da lama, o qual é constituído por duas etapas: Processo de decantação ou sedimentação e a redução da umidade do resíduo. Através do beneficiamento da lama abrasiva, os efluentes líquidos constituídos pela indústria, passam pelo sistema de decantação de fluxo vertical ou sedimentação primário de fluxo horizontal (compartimento de concreto armado) e por meio da estação de tratamento da água, são distribuídos agentes químicos flocculantes que tem a função de acelerar todo o processo. Com isso, a água consegue ser reaproveitada, recirculando no sistema e contribuindo para o processo industrial sustentável. Os resíduos depositados neste tanque decantador, obtém uma redução em sua umidade, que representa uma grande quantidade de mistura de água, pó de rocha e restos de constituintes abrasivos empregados devido a refrigeração dos equipamentos decorrente dos processos de corte e polimento

das peças (SOUSA, 2007 *Apud* ARAÚJO, 2019) e com isso, permite um transporte do volume significativamente menor de rejeito para a destinação final (SILVA, 2011 *Apud* ARAÚJO, 2019).

3.2.1 Classificação da LBRO

A NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos quanto aos seus riscos potenciais tanto ao meio ambiente e à saúde pública, indicando o manuseio e destinação dos resíduos, para assim ter seu gerenciamento corretamente. Para estes efeitos, classificam-se os resíduos em:

- a) Resíduos classe I – Perigosos;
- b) Resíduos classe II – Não Perigosos;
- c) Resíduos classe II A – Não inertes;
- d) Resíduos classe II B – Inertes.

A lama abrasiva é considerada um resíduo de origem industrial, e se encaixa na classificação desta norma. Entretanto, para a classificação desse resíduo, os ensaios de solubilização e de lixiviação devem sempre ser realizados, pois cada rocha tem sua composição química mineralógica. No extrato lixiviado, são determinados os parâmetros (As, Ba, Cd, Pb, Cr, F⁻, Hg, Ag e Se) e no extrato solubilizado, os parâmetros (Al, As, Ba, Cd, Pb, CN⁻, Cl⁻, Cu, Cr, fenóis, Fe, F⁻, Mn, Hg, NO₃⁻, Ag, Se, Na, SO₄⁻², surfactantes e Zn). Para Braga *et al.* (2010), as LBRO's são resíduos de origem, características físicas e de manuseio conhecidos. São misturas de materiais inorgânicos, rochas graníticas, mármorees juntamente com outros insumos para seu beneficiamento, como a cal/bentonita, água e a granalha. Os materiais ferrosos oxidados, originados do processo de desgaste das lâminas de corte de teares e da granalha, podem alterar a caracterização da LBRO no processo de serragem de chapas. Alguns parâmetros como Cl, Na, Cd, Hg e fenóis também são observados para a classificação de LBRO de polimento de chapas. A detecção destes parâmetros em valores superiores, de acordo com a NBR 10004 (ABNT 2004), demonstra a grande influência que os componentes das pastilhas abrasivas exercem na classificação das LBRO de polimento. Esses resultados constatam a influência dos elementos componentes da rocha na definição da classe das LBRO e também desmistificam a crença de que todas as LBRO são resíduos Classe - IIB - inerte. Alguns estudos, como de Buzzi (2008), classificou os resíduos de LBRO

como Classe II A – não perigosos e não inertes. Portanto, cada material precisa de uma quantidade particular de granalha para seu corte, uma quantidade de abrasivo para seu polimento. A proporção depende do grau de dureza e fragilidade de cada material. Portanto, o empreendedor desta natureza do município de Cachoeiro de Itapemirim, por exemplo, é obrigado a realizar testes de caracterização em amostras de LBRO de suas empresas anualmente para atender a condicionantes determinadas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (Semma), com laudo de laboratório especializado atendendo a todos os parâmetros da NBR 10004 (NBR 2004) com a finalidade de atestar a não periculosidade da LBRO e caracterizá-la em inerte ou não inerte (II A ou IIB) para destinação segura aos aterros industriais, que só podem receber as LBRO's nestas condições.

3.2.2 Gerenciamento de Resíduos

O Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA) do estado do Espírito Santo regulamentou a questão da disposição da lama na Instrução Normativa - IN 19/2005, onde estabelece em seu artigo 3º, § 4º que o armazenamento de resíduos sólidos provenientes do tratamento dos efluentes do processo de beneficiamento de rochas de beneficiamento industrial deverá ocorrer sobre o solo com permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s, com umidade inferior a 30%, sobre zona não saturada de espessura superior a 3 metros, com sistema de drenagem pluvial e de águas residuárias e medidas de proteção contra erosão, excetuando-se os casos de disposição sobre piso impermeabilizado. Para Silva (2011), a partir da edição da referida IN 19/2005, as empresas de beneficiamento de rochas tiveram que adequar as práticas até então realizadas por elas, onde a lama era depositada em cavas realizadas no pátio do próprio empreendimento. Esta necessidade de adequação fez com que muitos processos de renovação de Licença de Operação ficassem prejudicados, pois os empresários não conseguiam se adequar, seja por falta de aterros adequados, áreas aptas para implantá-los e principalmente pelos custos envolvidos. Levando em consideração a grande quantidade de resíduo gerada. Alguns pesquisadores vêm estudando o aproveitamento de resíduo de corte de granito, na produção de argamassas (CALMON *et al.*, 1997 *Apud* SILVA, 2011), peças cerâmicas

(LIMAFILHO *et al.*, 2000 *Apud* SILVA, 2011), tijolos cerâmicos (NEVES *et al.*, 1999 *Apud* SILVA, 2011).

A Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010 instituída pela Casa Civil, regulamentou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), alterando a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre penalidade a crimes ao meio ambiente.

Em seu artigo 3º define os resíduos sólidos no inciso XVI:

"Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível".

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos gerados têm a seguinte classificação:

"I - Quanto à origem:

a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;

b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;

c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas "a" e "b";

d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";

e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";

f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;

g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

i) resíduos agro-silvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - Quanto à periculosidade:

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I do caput, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal” (artigo 13, inciso I e II).

Como o resíduo semissólido em estudo é a lama do beneficiamento de rochas ornamentais, para compreender melhor sua destinação, recorreu-se às legislações que descrevem os procedimentos deste resíduo de mineração. A Instrução Normativa 012/2007 regulamentada pelo lema dispõe sobre a definição dos procedimentos para licenciamento da atividade de aterro industrial de lama abrasiva gerada a partir do tratamento de efluentes da atividade de Beneficiamento de Rochas Ornamentais. Em seu artigo 3º, inciso I define aterro industrial como:

“Técnica de disposição final de resíduos sólidos industriais no solo para minimizar o risco à degradação ambiental e à saúde pública. Esta técnica é multidisciplinar e requer aplicações de princípios de engenharia para confinar os resíduos em menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível”.

Assim como em seu inciso II define a lama abrasiva como “resíduo sólido ou semissólido não perigoso resultante dos processos de beneficiamento de rochas ornamentais, composto basicamente de pó de rocha com ou sem elementos abrasivos e demais insumos”. A mesma Instrução normativa foi atualizada em 2016, trazendo consigo as definições específicas em seus primeiros incisos do artigo 3º:

“Para os efeitos desta Instrução Normativa serão adotadas as seguintes definições:

I - Aterro de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais: Área onde são empregadas técnicas de disposição de lamas do beneficiamento de rochas ornamentais no solo, de forma a possibilitar seu uso futuro, conforme princípios de engenharia, confinando os resíduos na menor área possível e reduzindo-os ao menor volume permissível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente;

II - Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais - LBRO: Resíduo sólido não perigoso - Classe II, resultante dos processos de beneficiamento de rochas ornamentais, composto basicamente de pó de rocha com ou sem elementos abrasivos e demais insumos do processo de beneficiamento;

III - Área do Empreendimento: Área disponível para instalação das atividades inerentes ao Aterro de LBRO;

IV - Área de Disposição de LBRO: Área onde será efetuada a disposição de LBRO no local do empreendimento” (artigo 3º, IN 012/2016).

Por esta razão, devem ser destinados aos aterros industriais Classe IIA – não inertes e IIB - inerte, segundo a IN N° 11, de 11 de Outubro de 2016.

3.3 ENCERRAMENTO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO

A partir dos anos 1960 teve início a uma visão que nosso ambiente natural era um meio limitado e começou a se intensificar a noção de que o modelo de desenvolvimento mundial estava levando a um colapso do meio ambiente (ARAÚJO, 2016). Em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, também conhecida como Conferência de Estocolmo, reuniu países industrializados e em desenvolvimento para discutir como usar o ambiente tendo qualidade de vida. Foi introduzido na agenda política internacional a dimensão ambiental como condicionadora e limitadora do modelo tradicional de crescimento econômico e do uso dos recursos naturais. Em 1987, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento divulgou o documento “Our Common Future” (Nosso Futuro Comum), mais conhecido como Relatório Brundtland, que apontava para a carência de conciliação das questões ambientais e sociais e começava a dar visibilidade ao conceito de desenvolvimento sustentável, definido como aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”, consolidado posteriormente durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), mais conhecida como ECO 92, Rio 92, Cúpula ou Cimeira da Terra. O evento foi o maior já realizado no mundo e reuniu 179 países, dando origem a acordos fundamentais como a Agenda 21 e as Conferências das Partes sobre Biodiversidade e Clima, além de ter contribuído para conscientização de que os danos ao meio ambiente eram majoritariamente de responsabilidade dos países desenvolvidos. O documento final da Conferência, a “Declaração do Rio sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento”, estabeleceu um conjunto de princípios e compromissos dos países participantes para implementar processos de desenvolvimento sustentável (ALAMINO et al., 2016). A partir de então, diversas conferências globais foram realizadas visando

envolver os países em torno de uma nova concepção de desenvolvimento. Entre esses eventos, estiveram as conferências Rio +5, Rio +10 e Rio +20.

De acordo com a NBR 13896 (ABNT, 1997), nos objetivos do plano de encerramento da operação do aterro, devem ser tomadas medidas para minimizar a necessidade de manutenção futura, minimizar ou evitar a liberação de líquido percolado contaminado e/ou gases para o lençol de águas subterrâneas, para os corpos d'água superficiais ou para a atmosfera.

No plano de encerramento devem constar os métodos e as etapas a serem seguidas no fechamento total ou parcial do aterro, o projeto e construção da cobertura final, de forma a minimizar a infiltração de água na célula, exigir pouca manutenção, não estar sujeita a erosão, acomodar assentamento sem fratura e possuir um coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro; A data aproximada para o início das atividades de encerramento; Uma estimativa dos tipos e da quantidade de resíduos que devem estar presentes no aterro, quando encerrado; Usos programados para a área do aterro após seu fechamento; Monitoramento das águas após o término das operações; Atividades de manutenção da área; Provisão dos recursos financeiros necessários para a execução das tarefas previstas neste plano. Todas as obras devem ser realizadas até no máximo seis meses após o recebimento da última carga de resíduo.

Após o encerramento das atividades do aterro, deverá ocorrer um constante monitoramento das águas subterrâneas, por um período de 20 anos após o fechamento da instalação. Este período pode ser reduzido, uma vez constatado o término da geração de líquido percolado, ou então estendido caso se acredite ser insuficiente; Deverá ser realizada constante manutenção dos sistemas de drenagem e de detecção de vazamento de líquido percolado até o término da sua geração; Manutenção da cobertura de modo a corrigir rachaduras ou erosão; Manutenção do sistema de tratamento de líquido percolado, se existente, até o término da geração desse líquido ou até que esse líquido (influyente no sistema) atenda aos padrões legais de emissão; Manutenção do sistema de coleta de gases (se existente) até que seja comprovado o término de sua geração.

Pode ser exigido, do responsável pela área, a manutenção do isolamento do local, caso exista risco de acidente para pessoas ou animais com acesso a ela.

A IN 11/2011 estabelece que este procedimento deve ter como objetivo confinar os resíduos aterrados e preparar a área para futuro aproveitamento previsto. Este uso futuro é a possível utilização que poderá ser dada à área após o encerramento das atividades do aterro, devendo levar em consideração o uso do solo, a localização da área, topografia final, estabilidade do aterro e risco ao meio ambiente e à saúde pública. A área do empreendimento compreende uma área própria de cultivo rural da fazenda ocupada por pastagem, que será arrendada por toda a vida útil do aterro. Desta forma, o uso futuro após o encerramento das atividades, será adequar o local novamente para pastagem, conforme acordado com o proprietário.

O descomissionamento será configurado para devolver o aterro ao ambiente em condições de uso seguro permanentemente. Para atender esta finalidade, será estruturado com uma primeira camada drenante, para eventual percolação de líquidos. Uma segunda camada impermeabilizante, e por fim, uma terceira camada de solo orgânico, onde será realizado todo tratamento para o processo de replantio de vegetação nativa própria para a ocupação animal.

O fechamento de um empreendimento é um padrão de desempenho acordado entre os envolvidos no processo, demonstrando que o sucesso do programa desenvolvido durante a vida útil do empreendimento foi atingido. O envolvimento da comunidade no processo de fechamento é tão importante quanto à observância da legislação que rege o processo, sendo fundamental no estabelecimento das alternativas de usos possíveis para a área reabilitada, e na escolha da alternativa aceita como a mais viável (técnica e economicamente) e adequada para o sítio, após a conclusão do processo de encerramento (NERY, 2009).

4 METODOLOGIA

Para melhor compreensão, o estudo divide-se em três etapas. Inicialmente serão retratadas as normas construtivas aplicáveis à segurança de construção de barragens. Esta fase será cometida pela revisão bibliográfica e jurídica tangível à esfera da legislação preponderante na área construtiva do empreendimento e operacional quanto ao gerenciamento de seus de resíduos, pertinente também para seu constante monitoramento.

Na segunda etapa, será realizado o estudo de caso que evidencia a atual conjuntura do projeto do aterro, ressaltando as legislações construtivas exigíveis ao projeto inicial quanto a fase do licenciamento e da implantação, visando a melhor operabilidade do aterro. Para esta etapa do estudo, será utilizada a base de dados arquivada no empreendimento para consulta e levantamento de todo trabalho realizado preliminarmente para possibilitar sua implantação.

Por fim, terceira etapa propõe o projeto final do aterro com as caracterizações estimadas de cubagem e vida útil, visando a melhor operabilidade do aterro e suas vias de acesso. Para esta projeção será utilizado os softwares Google Earth e ArcGis, juntamente com a legislação imprescindível para a etapa de fechamento de um empreendimento para uso futuro, como designa a lei.

4.1 ESTUDO DE CASO

Atualmente, o aterro encontra-se na fase de licenciamento para implantação. Uma série de regulamentos são atendidos, perante legislação, para o andamento competente desta e demais etapas. A Lei Complementar nº 248 de 26 de Junho de 2002, no art. 33, inciso VII e o Decreto 1.382-R, de 07 de Outubro de 2004 conferem as atribuições legais de órgão fiscalizador do setor no estado do Espírito Santo ao Iema. Por esta razão, todo o procedimento para licenciamento, projeto, implantação, construção, operação, monitoramento e uso futuro, atualmente, é regido pela IN 11/2011.

A IN 11/2016 em seu artigo 4º, cita como um dos critérios para licenciamento de um aterro industrial de LBRO, além dos demais exigidos pela lei, que sua localização deve ser planejada de tal modo a minimizar o máximo de impacto ambiental possível, respeitando uso e ocupação do solo, distanciamento de núcleos populacionais em mais de 300 metros, margens não edificáveis de rodovias, ferrovias, linhas de transmissão e outras. A cota de fundo do aterro

deverá ser igual ou superior a 3 metros de distância do lençol freático, assim como, preferencialmente, a uma distância de 200 metros de cursos d'água e em local que não está sujeito às inundações, considerando um período de recorrência de 100 anos. Não poderá ser construído em Área de Preservação Permanente (APP) nem em Reserva Legal. Não é permitido sua construção em área de Unidade de Conservação (UC), salvo em algumas exceções conforme Lei nº 9.985 de 18 de Julho de 2000, que trata de preservação de fauna e flora ameaçadas de extinção. Após a conciliação destes critérios, inicia-se a fase de implantação do empreendimento.

4.1.1 Estudo do fluxo hídrico local

Conforme a referida IN 11/2011, em seu artigo 3º e 11, é exigível poços de monitoramento de águas subterrâneas para o controle ambiental, implantada no solo, em local representativo, de acordo com norma técnica específica, com objetivo de coleta de amostras de águas subterrâneas para verificar sua qualidade periodicamente. No mínimo, quatro poços de monitoramento sendo um a montante e três a jusante, considerando a direção e o sentido do fluxo hídrico subterrâneo. Os poços de monitoramento deverão ser implantados de acordo com as normas técnicas e legislação em vigor e deverão ser georreferenciados. Antes da instalação do empreendimento deverá ser apresentada a primeira campanha de monitoramento dos poços, como referência para as análises subsequentes.

4.1.2 Poços de monitoramento

As sondagens investigativas fornecem dados importantes para a conclusão sobre a existência ou não de água subterrânea na área investigada, caso seja identificada a sua presença, é possível também determinar o seu fluxo hídrico subterrâneo por meio de estudos potenciométricos³, o qual considera valores de cargas hidráulicas para diversos pontos, no mínimo três, obtidos através de sondagens investigativas in loco. Em março de 2016, foi realizada a campanha

³ No âmbito da hidrogeologia, o movimento das águas subterrâneas, isto é, o sentido do fluxo hídrico subterrâneo é determinado através da potencimetria, a qual considera valores de cargas hidráulicas para diversos pontos, obtidos em poços previamente perfurados.

de sondagem investigativa no empreendimento, desenvolvida pela empresa GT Soluções em GEO INCRA coordenada pelo técnico em geologia Tilson Soares Coelho, com 21 furos. Este trabalho apresentou o estudo hidrogeológico da área, com objetivo de identificar a ocorrência da água subterrânea nas proximidades da área de interesse, gerando informações sobre a viabilidade de implantação de um aterro industrial Classe II.

A sondagem teve como objetivo, além de caracterizar as camadas do solo, identificar o nível do lençol freático para avaliação do fluxo hídrico subterrâneo da área de estudo. Para tanto, foram realizados seis furos de sondagem que deram subsídio para formação de um plano preferencial do fluxo das águas subterrâneas. Os furos foram realizados com um trado de perfuratriz mecânica, equipamento bastante utilizado em sondagens de solos como mostra a figura 3: Figura 3 - Imagem da utilização do trado mecânico em campanha de sondagem realizada em 2016, disponível no acervo da ADAMAG



Fonte: Autor (2020).

Os boletins de sondagem contêm as informações pertinentes a cada sondagem realizadas, informações tais como: perfil litológico, profundidade do nível de água (N.A.), coordenadas de localização do furo, entre outros. A figura 4 a seguir mostra, a exemplo, um dos 21 boletins de sondagem:

Figura 4 - Boletim de sondagem do furo 1

BOLETIM DE SONDAAGEM				
PROJETO: POÇO MONITORAMENTO (ADAMAG)				FLS 1/1
FURO Nº: 01	Ø IN.: 4"	Ø FIN.: 4"	UTM: 280070.00 E / 7699549.00N	DATA: 27/04/2016
LOCAL: Monte Líbano		MUNICÍPIO: CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM		ESTADO: ES
RESPONSÁVEL TÉCNICO:				ASS:
PROFUNDIDADE (m)		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	COLUNA GEOLÓGICA (ESCALA 1/100)	
DE	ATÉ			
0,00	0,30	Composto silto-argiloso mediamente compacto, seco, com coloração acinzentada, sem estrutura e com pouca presença de material orgânico.		
0,30	0,80	Composto argilo-arenoso, seco, com coloração amarronzada, sem estrutura e sem presença de material orgânico.		
0,80	2,40	Horizonte composto por saprólito (rocha alterada), de coloração ocre a cinza, altamente compacto.		
OBS.: NÃO FOI ENCONTRADO NÍVEL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.				
Fim de furo (Impenetrável à perfuratriz: Rocha)				

Fonte: Autor (2020).

Visando atingir os objetivos deste estudo, o trabalho foi desenvolvido cumprindo-se etapas previamente estabelecidas:

- a) levantamento bibliográficos;
- b) reconhecimento de campo;
- c) locação dos pontos estratégicos para sondagens;
- d) medição de nível estático e definição do sentido do fluxo hídrico subterrâneo.

Na etapa inicial, representada pelo levantamento bibliográfico, não foi possível obter-se trabalhos publicados de cunho hidrogeológicos local, nem mesmo sem escala regional, notando-se a grande deficiência que o estado do Espírito Santo tem com relação a estudos hidrogeológicos propriamente ditos. Por este motivo, as conclusões e comentários sobre a hidrogeologia local são frutos exclusivamente do levantamento de campo realizado.

No reconhecimento de campo, delimitado pelo software Google Earth, foi possível observar que a área de interesse apresentava um desnível de 24 m, sendo a sua cota mais alta em torno de 102 m e mais baixa próxima de 78 m. Nas porções mais baixas do terreno foi possível observar indícios de alagamentos e no entorno, relevos que formam uma drenagem de água

superficial. Próximo à área de interesse foi possível constatar a presença do Córrego sem denominação, sendo este afluente do Ribeirão Salgado, que por sua vez, é afluente do Rio Itapemirim. A distribuição espacial dos furos de sondagens foi realizada de forma estratégica, devido às diferenças de nível encontradas no terreno em estudo, com objetivo de se obter melhores pontos para a construção do mapa potenciométrico representativos para a área em questão.

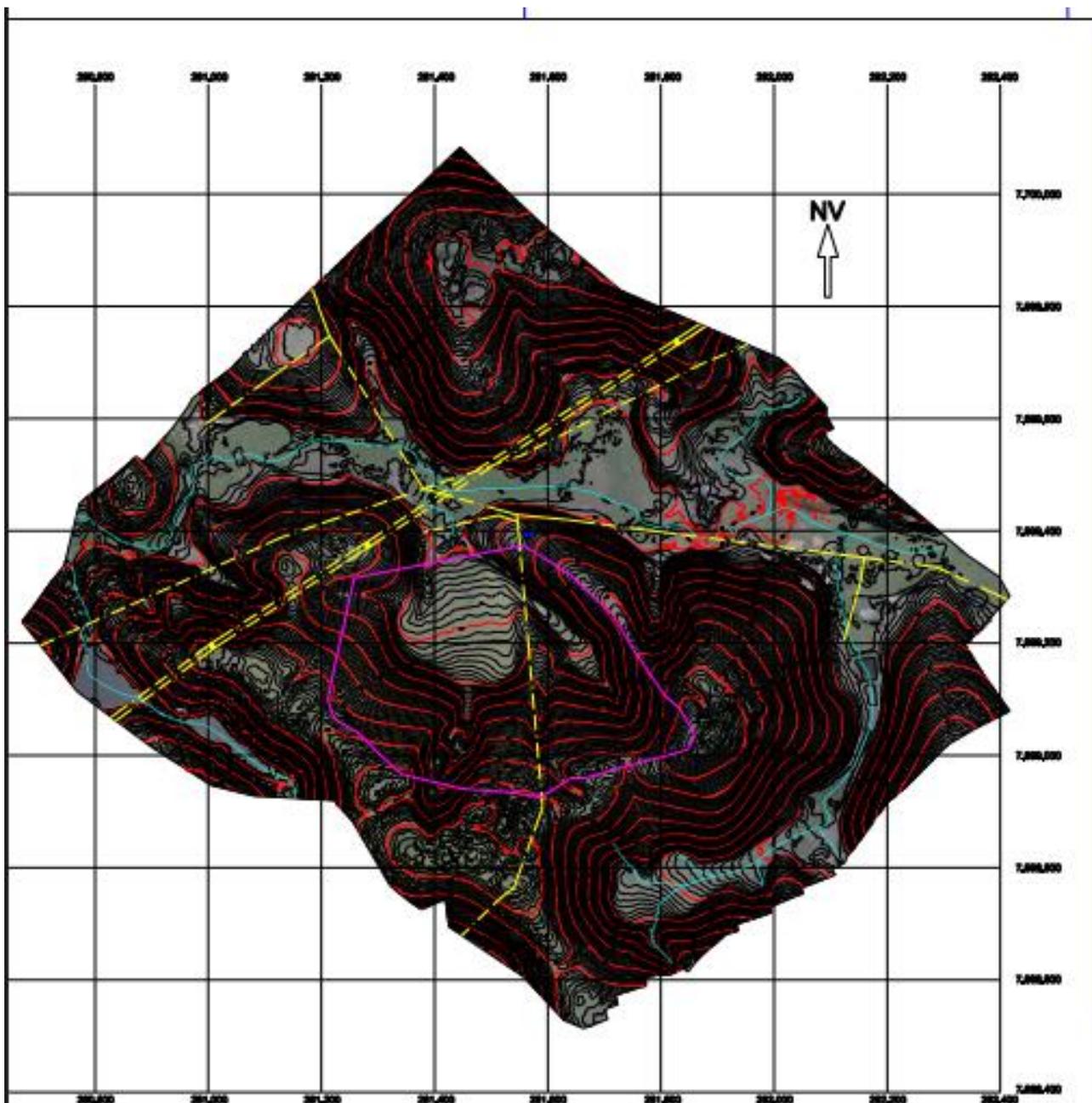
4.1.3 Potenciometria

O mapa potenciométrico é uma das principais ferramentas para estudar o fluxo de água subterrânea. De acordo com Feitosa e Filho (2000), para a confecção destes mapas é necessário conhecer a cota da superfície do terreno (em metros) e a medida do nível estático (em metros) do aquífero em diversos pontos. A diferença entre a cota (C) e o nível estático (NE) nos fornece o valor da carga hidráulica (H) do aquífero naquele ponto.

A partir de uma série destas medidas, utilizando-se um programa de computador para interpolação de curvas, ou mesmo manualmente, se faz o traçado do mapa potenciométrico. Após a obtenção dos valores de cargas hidráulicas (H), o mapa potenciométrico é elaborado.

Partindo para etapa de elaboração da potenciometria, foram levantados os dados dos pontos de sondagens, tais como medidas dos níveis estáticos e da cota do terreno para cada poço. O traçado das curvas isopotenciométricas mostrada na figura 5 a seguir foi feito utilizando-se dos recursos do software Surfer a partir de aerofotogrametria captadas por um drone Phantom 4 Pro. A interpolação dos valores de carga hidráulicas (H) foi feita a partir do método de Kriging.

Figura 5 - Imagem do mapa potenciométrico elaborado pela equipe da GT Geo Incra



Fonte: Autor (2020).

Onde as linhas azuis claras representam os cursos d'água, as linhas amarelas tracejadas representam rede elétrica, as linhas vermelhas representam as curvas de nível de 10 em 10 metros, as linhas pretas mais finas representam as curvas de nível de 1 em 1 metro e o perímetro em rosa representa os limites da empresa ADAMAG.

O empreendimento está situado na localidade de Monte Líbano, Sítio São José, zona rural de Cachoeiro de Itapemirim, ES. A planta de situação, pertencente ao mapa potenciométrico da figura 5, é mostrada no seguinte sistema de coordenadas na figura 6:

- Coordenadas planas: UTM;
- Datum: Sirgas 2000;
- EPSG: 31.999;
- Zona: 24K.

Figura 6 - Imagem da planta de situação do mapa potenciométrico elaborado pela equipe da GT Geo Inkra



Fonte: Autor (2020).

Com base na avaliação de campo executada pela equipe técnica responsável, além dos dados produzidos na campanha de campo, pôde-se elaborar um diagnóstico sobre o arcabouço hidrogeológico local, considerando as particularidades do terreno e a área de entorno. O mapa potenciométrico obtido indica um fluxo hídrico subterrâneo preferencialmente no sentido oeste. Este resultado, de certa forma, era esperado, pois para o local em questão julga-se que o fluxo hídrico subterrâneo seja conduzido, preferencialmente, pelo curso hídrico superficial mais próximo, no caso o Córrego Sem Denominação a uma distância aproximada de 20 m da área de entorno. Ressalta-se também, a

necessidade legal da Área de Preservação Permanente (APP) que neste caso adota-se 30 m de cada margem deste córrego em sua época de maior cheia, conforme regulamenta a Lei 12.651/2012 que dispõe sobre o Novo Código Florestal Brasileiro. A IN 11/2011 estabelece em seu artigo 11, inciso VII, *alínea a*, que se o empreendimento estiver localizado a menos de 200 metros de corpo hídrico superficial, deverá ser efetuado o monitoramento semestral desse corpo hídrico, em pontos georreferenciados, a montante e a jusante do empreendimento. Neste caso deverá apresentar, antes da instalação do empreendimento, a primeira campanha de monitoramento do corpo hídrico, a qual servirá como referência para as análises subsequentes; A área de interesse encontra-se localizada próxima a APP do Córrego Sem Denominação, ocorrendo a suspeita que nesta área tenha a ocorrência de um córrego intermitente. Existe a necessidade de uma maior análise hidrológica para esta comprovação. Conjuntamente, um estudo de cota de inundação, com o objetivo de identificar os riscos envolvidos na implantação do aterro industrial, conforme estabelece a IN 11/2011 em seu artigo 10.

Devido a este resultado do trabalho da GT Geo Incra, foi possível uma projeção mais assertiva na elaboração da construção do projeto final como resultado para este estudo.

4.1.4 Sistemas de drenagem

Outra condição do artigo 3º é o Sistema de Drenagem Pluvial, que funciona como um sistema de captação e desvio das águas de escoamento superficial das áreas externas do aterro.

Juntamente, um Sistema de Drenagem da Área de Disposição deverá ser implantada com função de captação da água da chuva que precipita sobre a área de disposição de LBRO, composto por pontos de acúmulo em seu interior, em lâmina inferior a 30 (trinta) cm de altura, instalados ao longo dessa área, com a possibilidade de uso de técnicas para redução dessa lâmina d'água.

Assim também, um Sistema de Impermeabilização de Fundo e Laterais é exigido para receber a deposição de camadas de materiais artificiais ou naturais compactados ou não, que impeçam ou reduzam substancialmente a infiltração dos líquidos percolados no solo.

4.1.5 Outros estudos exigidos

Os poços piezométricos é uma exigência do artigo 3º da IN 11/2011, sendo reconhecido como uma estrutura mais simples que os poços de monitoramento, composta apenas por tubo de revestimento vazado com tampa de proteção, implantada no momento das sondagens de reconhecimento do terreno, com o objetivo de investigar e/ou monitorar a existência e/ou nível do lençol freático em determinada época do ano e sua variação.

O Relatório de Controle Ambiental (RCA), estabelecido no artigo 3º, é uma avaliação ambiental exigível em todos os licenciamentos de empreendimentos ou atividades relativas à disposição de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais, apresentado sob a forma digital e impresso. O RCA deverá ser composto pelas seguintes partes:

- a) Diagnóstico Ambiental: Caracterização física, biótica e antrópica, estudo da fauna, levantamento geológico, geotécnico e Hidrogeológico da área do empreendimento;
- b) Projeto Básico: Memorial descritivo, memorial de cálculo, cronograma físico-financeiro;
- c) Impactos ambientais;
- d) Medidas mitigadoras;
- e) Documentos complementares;
- f) Bibliografia;
- g) Mapas e Desenhos Técnicos.

O RCA deverá ser apresentado em 1 (uma) via impressa e em meio digital, com mapas, tabelas e figuras que terão de ser legíveis, com escalas, informando as origens, as datas e os demais detalhes que se fizerem necessários. O estudo ambiental deverá ser realizado por equipe multidisciplinar habilitada, a qual será a responsável técnica pelos resultados apresentados.

O Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) é documento obrigatório, atualmente emitido pelo transportador de resíduos, em 3 (três) vias (gerador, transportador e destinador), contendo informações sobre gerador, origem, quantidade, classificação e destinação. Porém, a recente publicação da Portaria nº 280, de 29 de Junho de 2020 trouxe a implantação de uma nova versão do MTR, que agora é um documento numerado, gerado por meio do sistema de coleta, integração, sistematização e disponibilização de dados de

operacionalização e implantação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos (Sinir) como ferramenta on-line, emitido exclusivamente pelo gerador, que deverá acompanhar o transporte do resíduo até a destinação final ambientalmente adequada. O início de sua obrigatoriedade fica instituída a partir de 1º de janeiro de 2021.

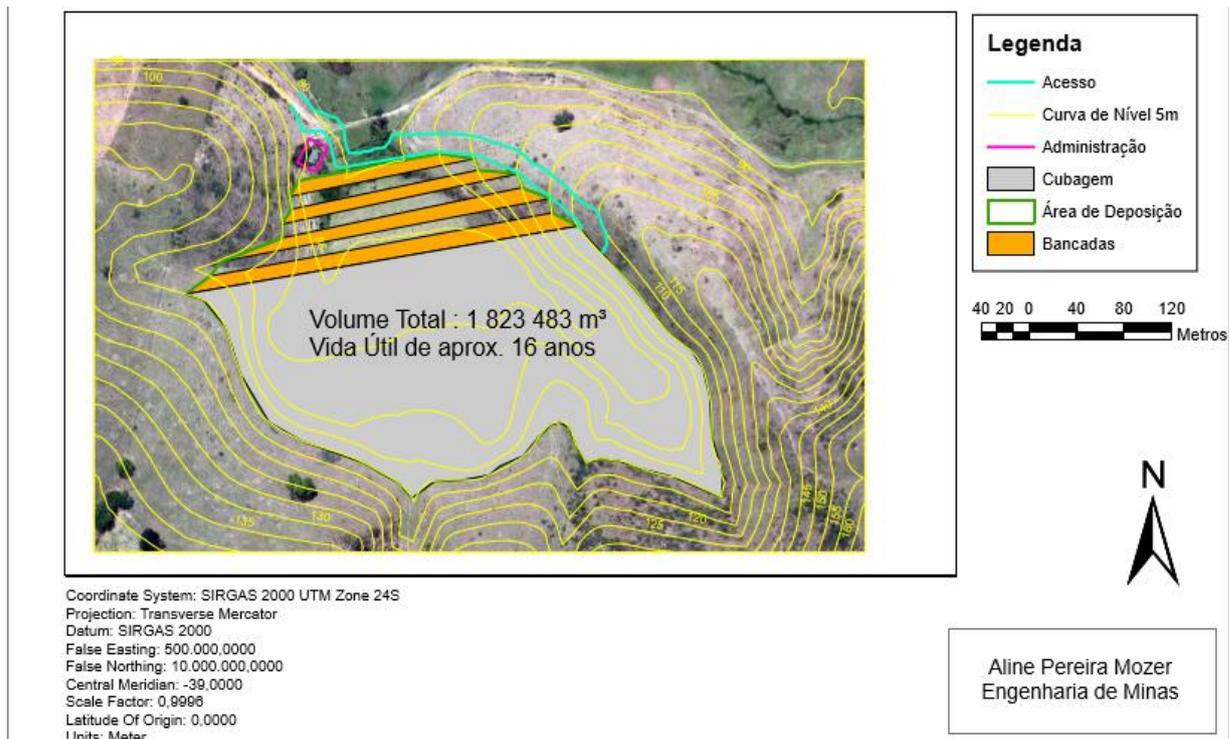
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a subjetividade de determinadas leis quanto às definições de termos, constantes publicações regulamentadoras e ausência de órgãos fiscalizadores para esclarecimentos concisos, optou-se por adotar duas propostas de trabalho para este estudo. O primeiro considera que o aterro industrial não está compreendido pela Lei da Política Nacional de Segurança de Barragens, uma vez que por própria definição da portaria da ANM, não é caracterizado como barragem de mineração, pois sua destinação não permite rejeitos de beneficiamento de minério, somente o rejeito do beneficiamento de indústrias de Rochas Ornamentais. Desta forma, a construção ou alteamento pelo método de montante não seriam proibidos.

5.1 PROPOSTA I – PROJEÇÃO FINAL DE MONTANTE

A elaboração do projeto foi desenvolvida pelo software ArcGis, conforme demonstrado na figura 8:

Figura 8 - Imagem da projeção final proposta pelo método de montante



Fonte: Autor (2020).

A partir do processamento dos dados topográficos, obteve-se o mapa planialtimétrico do aterro, onde são apresentadas suas características geométricas e desenvolvimento dos cálculos para cubagem e vida útil estimados, a partir da área útil de interesse de 79.500 m² de base para o dique de partida, conforme a equação (1).

Volume calculado por fatias, a partir da 4^a bancada para a 1^a bancada (última bancada superior para a primeira inferior):

$$V = auba \times Hba + \left(\frac{aba \times H0br}{2} \right) + abr \times Ht \quad (1).$$

Onde:

$auba$ = área da última bancada;

Hba = altura da bancada;

abr = área do barramento;

$H0br$ = altura inicial do barramento;

Ht = altura do talude;

V = volume.

Substituindo:

$$V = 62572 \text{ m}^2 \times 25 \text{ m} + \left(\frac{3943 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m}}{2} \right) + 3943 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m}$$

$$V = 1.653.017,5 \text{ m}^3.$$

O volume das áreas entre os taludes também é calculado para se somar ao volume total, conforme a equação (2) demonstra.

Volume da área entre taludes:

$$V_{total} = V1 + V2 + V3 \quad (2).$$

Onde:

$$V = \text{base} \times \text{altura}.$$

Substituindo:

$$V = 3.100 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m} + 2.332 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m} + 1.596 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m}$$

$$V = 112.940 \text{ m}^3.$$

Na sequência, calcula-se os volumes das bancadas seguintes, individualmente, nas equações (3), (4) e (5).

Volume da área da 3ª bancada:

$$V = \frac{(atba \times Hba)}{2} + atba \times Htba \quad (3).$$

Onde:

$atba$ = área da terceira bancada;

Hba = altura da bancada;

$Htba$ = altura até a terceira bancada;

V = volume

Substituindo:

$$V = \frac{2.709 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m}}{2} + 2.709 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m} = 47.405,50 \text{ m}^3.$$

Volume da área da 2ª bancada:

$$V = \frac{asba \times Hba}{2} + asba \times Hsba \quad (4).$$

Onde:

$asba$ = área da segunda bancada;

Hba = altura da bancada;

$Hsba$ = altura até a segunda bancada;

V = volume.

Substituindo:

$$\frac{1.802 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m}}{2} + 1.802 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} = 4.505,50 \text{ m}^3.$$

Volume da Área da 1ª bancada:

$$V = \frac{asba \times Hba}{2} + aba \times Hsba \quad (5).$$

Onde:

$asba$ = área da segunda bancada;

aba = área da bancada;

Hba = altura até a segunda bancada;

V = volume.

Substituindo:

$$V = \frac{1.446 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m}}{2} + 1.446 \text{ m}^2 \times 5 \text{ m} = 3.615 \text{ m}^3.$$

Finalmente, soma-se todo o volume calculado para encontrar o volume total comportado, conforme demonstrado na equação (6):

$$\text{Volume Total} = V1 + V2 + V3 + V4 \quad (6).$$

Onde:

$V4$ = Volume 4ª bancada;

$V3$ = Volume 3ª bancada;

V_2 = Volume 2ª bancada;

V_1 = Volume 1ª bancada.

Substituindo:

$$\text{Volume total} = 1.653.017,5 \text{ m}^3 + 112.940 \text{ m}^3 + 47.405,5 \text{ m}^3 + 4.505 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume total} = 1.821.483 \text{ m}^3.$$

Considerando aproximadamente 255 dias úteis no ano de funcionamento do empreendimento, com cerca de 30 viagens por dia de caminhões de capacidade média de 15 m³, teremos 114.750 m³ por ano, conforme a equação (7):

$$C_m = 255 \times 30 \times 15 \quad (7).$$

Onde:

C_m = Capacidade média.

Substituindo:

$$C_m = 114.750 \text{ m}^3 \text{ por ano.}$$

A equação 8 determina a vida útil:

$$V_u = \frac{1.821.483 \text{ m}^3}{114.750 \text{ m}^3} \quad (8).$$

Onde:

V_u = Vida útil.

Substituindo:

$$V_u = 15,873 \text{ anos}$$

A vida útil de aproximadamente 16 anos desconsidera a umidade e a compactação do material. Atentando para o fator de permeabilidade da LBRO, que precisa atender ao coeficiente de permeabilidade de 10⁻⁶ cm/s conforme a IN 11/2016 do IEMA, a compactação do material será atingida conforme a operacionalidade do aterro, devido à compressão por máquinas, caminhões e a constante deposição do próprio material. A LBRO sem umidade, se adensará mais, tendo suas partículas mais coesas. Quando ocorrer esta perda de 30% de umidade, é coerente estimar que a vida útil do aterro será aumentada, pois comporta um volume maior de material com esta compactação. Vale ressaltar que estes são cálculos de anteprojeto, e na prática, o cálculo real de vida útil é feito anualmente e sempre ajustado conforme a demanda de LBRO que é

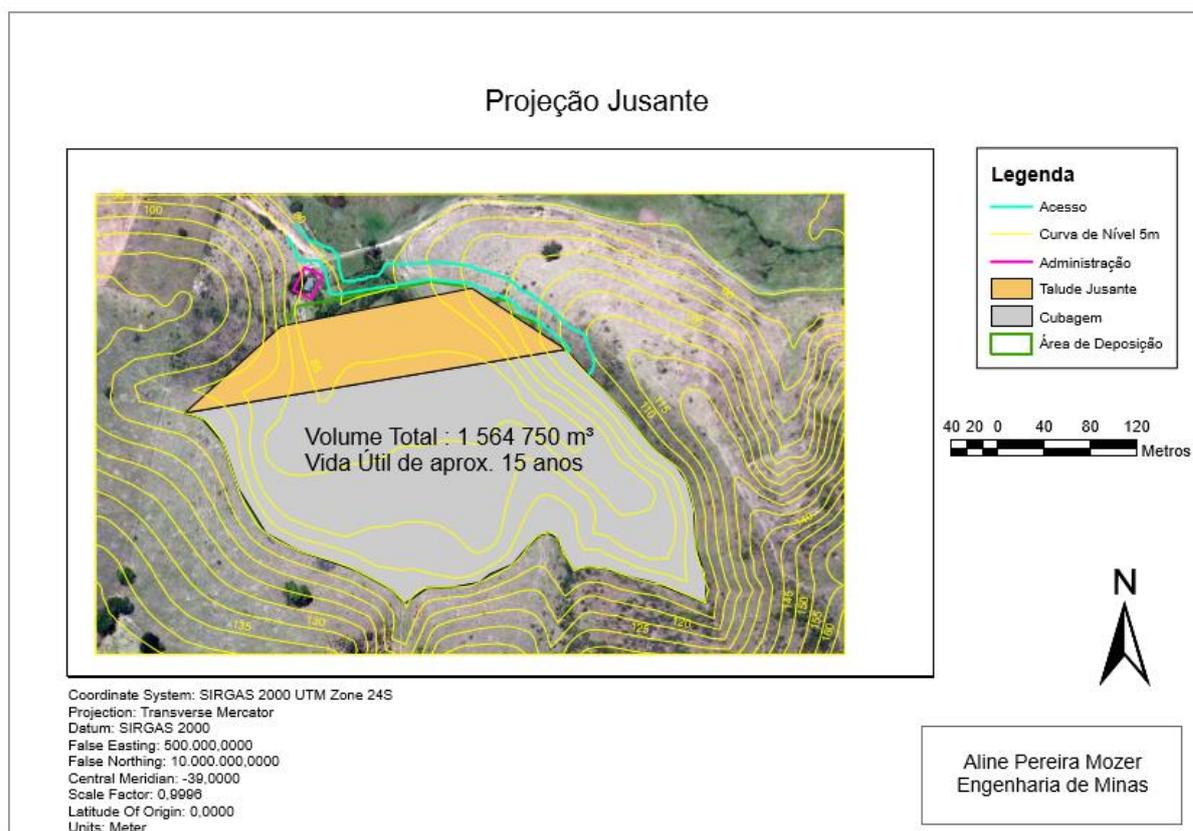
recebida no aterro, que pode variar diariamente por diversos fatores, como por exemplo, excesso de chuva, que faz com que não haja circulação de caminhões nesses dias. Em contrapartida, também há dias que o aterro recebe uma demanda maior de caminhões. Portanto, a vida útil é um constante cálculo a ser realizado com mais precisão com o aterro em funcionamento, com dados reais e atualizados.

Os ângulos de taludes e bermas, analisados através de perfis topográficos, que ilustram a geometria individual de cada uma das bancadas e a geometria geral dos taludes em relação à horizontal podem ser analisados. O ângulo de talude utilizado foi de 45°.

5.2 PROPOSTA II – PROJEÇÃO DE JUSANTE

A segunda proposta considera o pior cenário, cuja a classificação do empreendimento, caso fosse incluído como barragem de mineração, teria que ser penalizado em atender a PNSB, sendo construído pelo método de jusante, como mostrado na figura 9:

Figura 9 -Imagem da projeção final proposta pelo método de jusante



Fonte: Autor (2020).

A Proposta II teria assim, um custo maior para atender às normas construtivas, com menor vida útil e menor cubagem para disposição de resíduos, considerando o mesmo pit final de barramento que o projeto da proposta I. Em contrapartida, ofereceria uma estabilidade e segurança muito maior, porém não existe possibilidade de alteamentos maiores devido a área externa já ser limitada.

Com base nos cálculos anteriores da Proposta I, obteve-se a cubagem de forma mais simplificada. A área de 62.590 m² foi retirada do perímetro de área útil determinada no software relacionada com altura do último barramento, conforme demonstra a equação (9).

$$\text{Volume total} = 62.590 \text{ m}^2 \times 25 \text{ m} \quad (9).$$

$$\text{Volume total} = 1.564.750 \text{ m}^3$$

Para determinar a vida útil, usou-se a mesma capacidade média de 114.750 m³ por ano de deposição de LBRO no aterro, como foi determinado na equação (7) e a seguir calculada na equação (10) para a projeção de jusante.

$$Vu = \frac{Vt (m^3)}{Cm (m^3)} \quad (10).$$

Onde:

Vu = Vida útil;

Vt = Volume total;

Cm = capacidade média.

Substituindo:

$$Vu = \frac{1.564.750 \text{ m}^3}{114.750 \text{ m}^3} = 13,5 \text{ anos}.$$

Pelas mesmas razões de compactação de material descritas na Proposta I, estima-se o aumento de vida útil para cerca de 15 anos com a Proposta II.

6 CONCLUSÃO

Após a realização dos estudos na área em questão foi possível realizar um levantamento de dados de forma a possibilitar qual melhor metodologia poderia ser realizada naquela localidade. No entanto, buscando atender às normas vigentes, foi realizado um levantamento sobre as legislações que regem sobre este tema e foi observado que o presente estudo mostrou a dificuldade de estabelecer somente uma proposta de trabalho devida a certa divergência na conciliação de leis e práticas. Contudo, a engenharia trabalha com uma ciência mais assertiva possível, tendo que estar quase sempre próxima do resultado ideal, para não comprometer a segurança de grandes estruturas e assegurar sempre o bem-estar de vidas humanas e o desenvolvimento sustentável. Para isto, optou-se por uma apresentação de uma proposta alternativa. No anteprojeto, os serviços executados de engenharia possibilitam uma visão no estudo de viabilidade que permite a estimativa dos custos e prazos de execução dos seus serviços, bem como a elaboração do projeto, tendo como base um conjunto de documentos técnicos (desenhos e normas) que possibilitam a caracterização da obra ou serviço planejado, que representam a opção aprovada. Tendo em vista a diminuição de vida útil e o custo mais elevado na construção, a Proposta II provavelmente seria inviável, uma vez que o fator segurança não justificaria o empreendimento, pois a Proposta I está atendendo todos os critérios de segurança de normas construtivas vigentes.

Propõe-se a continuidade deste estudo com a observância contínua e atualizada das legislações, para a ideal harmonia futura entre a prática jurídica e a prática exequível dos projetos de engenharia, através do melhor entendimento e compreensão das definições e caracterização dos empreendimentos mineiros. Desta forma, pode-se anular cada vez mais os acidentes do setor aliados à melhoria contínua das fiscalizações competentes. A exemplo, a Instrução Normativa nº 019/05 do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, que estabelece critérios e procedimentos técnicos para licenciamento da atividade de disposição de LBRO foi adaptada da NBR 13896 (ABNT, 1997), que estabelece critérios para projeto, implantação, operação e fechamento de aterros de resíduos não perigosos. Nesta norma existem procedimentos para percolado (chorume) e gases de resíduos orgânicos. Posteriormente, porém, a IN nº 11/2016 retira os procedimentos para drenagem de fundo, por não existir

percolado na LBRO. Observa-se em mais uma oportunidade então, que o processo de modificações e adaptações em normativas é contínuo, logo, é de suma importância seu acompanhamento e atualização continuada para aplicação nos projetos de engenharia. Na finalidade de justificar a segurança, o descomissionamento da área de um aterro industrial de LBRO deverá ser realizado conforme exigências das regulamentações, pois um aterro industrial deverá se auto portar após o seu descomissionamento, como foi visto ao decorrer deste estudo. Seria desejável causar o mínimo de impacto ambiental possível, a ponto de se observar pontualmente a área reintegrada ao meio ambiente e não notar, ou que seja notado minimamente, que a região recebeu um empreendimento de mineração, contribuindo para a conscientização do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ALAMINO, Renata C. J. et al. **Rio 92 à Rio+20: O CETEM e a Pesquisa Sustentável dos Recursos Minerais**. CETEM, hot site Rio + 20, jun. 2012. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/rio20/rio92_rio20.php>. Acesso em: 28 ago. 2020.

ARAUJO, Cecília Bhering de. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. Rio de Janeiro, RJ – Brasil. Setembro de 2006.

ARAUJO, Eliane Rocha. **Fechamento de minas no Brasil não tem legislação federal específica e coloca em risco saúde ambiental e de populações locais**. In: 2º Simpósio Brasileiro de Saúde & Ambiente (2ºSIBSA), 19 a 22 de outubro de 2014, Belo Horizonte – MG. Disponível em: <<https://www.cetem.gov.br/images/congressos/2014/CAC00350014.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

ARAÚJO, Fabiana Madeira de. **Análise da influência do resíduo da lama de marmoraria como elemento de substituição parcial do cimento nas propriedades do concreto**. 2019. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia – Curso de Mestrado em Construção Civil. Minas Gerais, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30127/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Mestrado_Fabiana_Madeira.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

Aspectos Regulatórios do Fechamento de Mina. Disponível em: <<http://ibram.org.br/sites/1300/1382/00000545.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Disponível em: <http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Panorama/Producao_Brasileira_Lavra_2018d.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. 2018. **Mineração é um dos setores prioritários no plano integrado de longo prazo do governo federal**. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Informe_01_2020_Balanco_2019.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 77 p.

_____. **NBR 13829**: Agrotóxico - Determinação da aderência a semente via úmida. Rio de Janeiro, 2011. 3 p.

BRAGA, Florindo dos Santos *et al.* **Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais**. Disponível em:

<https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522010000300006&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 12, DE 11 DE OUTUBRO DE 2016. Altera a Instrução Normativa - IN nº 4, de 2 de julho de 2013, que dispõe sobre os critérios de aceitação de relatórios de ensaios exigidos para análise dos pedidos de notificação e registro de produtos saneantes e dá outras providências.

_____. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 012 DE 03 DE DEZEMBRO DE 2007.** Dispõe sobre a definição dos procedimentos para licenciamento da atividade de aterro industrial de lama abrasiva gerada a partir do tratamento de efluentes da atividade de Beneficiamento de Rochas Ornamentais. Disponível em: <<https://iema.es.gov.br/Contents/Item/Display/4856>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 019 DE 17 DE AGOSTO DE 2005.** Disponível em: <<https://iema.es.gov.br/instrucao-normativa-019-de-17-de-agosto-de-2005>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Lei Complementar nº 248 de 26 de Junho de 2002.** Disponível em: <https://seama.es.gov.br/Media/seama/Legisla%C3%A7%C3%A3o/Legisla%C3%A7%C3%A3o%20interna/Lei_Complementar_248_2002.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Lei nº 9.985 de 18 de Julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Lei Federal nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010.** 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 9433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei 9984, de 17 de julho de 2000.

_____. **Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010.** Instituída pela Casa Civil, regulamentou a Política Nacional de Resíduos Sólidos–PRS. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.305%2C%20DE%20202%20DE%20AGOSTO%20DE%202010.&text=Institui%20a%20Pol%C3%A Dtica%20Nacional%20de,1998%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid %C3%AAs.&text=Art.&text=%C2%A7%20o%20Esta%20Lei,s%C3%A3o %20regulados%20por%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20espec%C3%ADfica>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Lei 12.651/2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Portaria DNPM nº 416/2012**, que criou o sistema de cadastro de barragens de mineração. Disponível em: <https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7230>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Portaria nº 280, de 29 de Junho de 2020**. Institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional, e dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-280-de-29-de-junho-de-2020-264244199>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **PORTARIA Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece 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, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

_____. **RESOLUÇÃO Nº 4, DE 15 DE FEVEREIRO DE 2019**. Estabelece medidas regulatórias cautelares objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido.

BUZZI, Daniella Cardoso. **Estudo de classificação e quantificação das lamas geradas no processo de beneficiamento de rochas ornamentais**. 2008. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2008.

FEITOSA, Fernando A. C. et al. **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. 3º Edição – Revisada e Ampliada. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14818/3/livro_hidrogeologia_conceitos.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

Instituto Brasileiro de Mineração (**IBRAM**). **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**/Instituto Brasileiro de Mineração; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2020.

Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da **Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010**, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

NERY, Miguel Antonio Cedraz. **Aspectos Regulatórios do Fechamento de Mina**. 2009. Disponível em: <<http://ibram.org.br/sites/1300/1382/00000545.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

NEVES, Luiz Paniago. **Segurança de Barragens – Legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/e-book-livre-legislacao-federal-brasileira-em-seguranca-de-barragens-autor-luiz-paniago-neves>>. Acesso em: 01 set. 2020.

O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais. Geól. Cid Chiodi Filho. ABIROCHAS. Julho/2018. Disponível em: <http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Panorama/Atividades_Setoriais_Brasil.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2020.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. Publicada no DOU no 226, de 22 de novembro de 2002, Seção 1, páginas 85-91. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

Resolução CNRH nº 143/2012, que trouxe um sistema de classificação por categoria de risco, dano potencial associado e volume para as barragens. Disponível em: <[https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de-2012/file#:~:text=%2F09%2F2012\)-,Estabelece%20crit%C3%A9rios%20gerais%20de%20classifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20barragens%20por%20categoria%20de,20%20de%20setembro%20de%202010](https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de-2012/file#:~:text=%2F09%2F2012)-,Estabelece%20crit%C3%A9rios%20gerais%20de%20classifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20barragens%20por%20categoria%20de,20%20de%20setembro%20de%202010)>. Acesso em: 28 ago. 2020.

Resolução CNRH nº 144/2012, que 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. Disponível em: <https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7234>. Acesso em: 28 ago. 2020.

RODRIGUES, André Bruttos. **Riscos da disposição de rejeitos da mineração e técnicas alternativas de disposição**. 2017. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/414/1/MONOGRAFIA_RiscosDisposi%C3%A7%C3%A3oRejeitos.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

SABBO, Gabriela Rodrigues; ASSIS, Milena Maria Graciano de; BERTERQUINI, Aline Botini Tavares. **Barragens de retenção de rejeitos de mineração**. Disponível em: <<http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/viewFile/2542/147#:~:text=O%20m%C3%A9todo%20de%20montante%20%C3%A9,material%20argiloso%20ou%20enrocamento%20compactado>>. Acesso em: 27 ago. 2020.

SILVA, AhnaiáZanotelli Dias da. **Metodologia de avaliação das práticas de gerenciamento ambiental dos resíduos de empresas de beneficiamento de rochas ornamentais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2011.

SILVA, André Araujo Alves da. **Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva.** In: VII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 12 e 13 de agosto de 2011. Disponível em: <https://www.inovarse.org/sites/default/files/T11_0350_2134.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

WERNECK, Márcio de Souza. **O que é e para que serve uma barragem de rejeitos?** Disponível em: <https://proec.ufabc.edu.br/ufabcdivulgaciencia/2019/02/01/o-que-e-e-para-que-serve-uma-barragem-de-rejeitos-v-2-n-1-p-5->. Acesso em: 01 set. 2020.