

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A IMPORTÂNCIA DA SUSTENTABILIDADE NO DESMONTE DE ROCHAS

VIVIAN TOLEDO LIPPI

JUIZ DE FORA

2023

A IMPORTÂNCIA DA SUSTENTABILIDADE NO DESMONTE DE ROCHAS

VIVIAN TOLEDO LIPPI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Geotecnia

Orientador: Prof. Guilherme Soldati Ferreira

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2023

A IMPORTÂNCIA DA SUSTENTABILIDADE NO DESMONTE DE ROCHAS

VIVIAN TOLEDO LIPPI

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com a Resolução Nº 01/2018 do Colegiado do Curso de Engenharia Civil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 15 de Dezembro de 2023

Por:



Prof. Guilherme Soldati Ferreira, M.Sc (Orientador)

UFJF – Faculdade de Engenharia – Departamento de Transportes e Geotecnia



Profa. Júlia Righi de Almeida, D.Sc (Examinadora 01)

UFJF – Faculdade de Engenharia – Departamento de Transportes e Geotecnia



Profa. Tatiana Tavares Rodriguez, D.Sc (Examinadora 02)

UFJF – Faculdade de Engenharia – Departamento de Transportes e Geotecnia

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, que guiou e iluminou meus caminhos até aqui e que me deu coragem para seguir este sonho de ser engenheira.

Ao meu pai que seguiu os caminhos do meu avô e me apresentou este universo de obras com sua profissão de pedreiro e que me inspirou a seguir este caminho. À minha mãe que me ensinou a amar estudar e aprender; aos dois sou muito grata, obrigada por fazerem tudo possível para que eu chegasse até aqui, nunca vou me esquecer de tudo que vocês me proporcionaram durante minha vida escolar e acadêmica, eu amo vocês.

À minha avó, minha maior incentivadora e também minha pessoa favorita do mundo, obrigada por me ensinar a sonhar e por sempre acreditar no meu potencial! Há muito de você em mim e eu me orgulho muito disso, eu te amo e estou muito feliz por viver este momento ao seu lado!

Aos meus avós que não estão mais por perto, mas que se fazem presentes das formas mais lindas possíveis e que me dão forças nos momentos que preciso, obrigada. Espero que vocês se orgulhem desta conquista da neta de vocês!

Aos meus demais familiares, principalmente minhas primas Beatriz, Carolina e Rafaela, obrigada por também fazerem parte disso e por incentivarem meu sonho, cada uma à sua maneira.

Ao meu namorado Matheus, que viveu cada parte deste sonho comigo desde a adolescência na escola, obrigada por sempre me lembrar que eu sou capaz de realizar tudo que eu quiser e por estar do meu lado em cada momento; com certeza você tornou essa jornada mais leve e mais feliz, eu te amo e sou muito grata por ter você na minha vida. E claro, à Luninha, nossa cachorrinha que deixou nossa vida ainda mais especial e repleta de amor!

Às minhas amigas que desde a época da escola fizeram parte dessa minha jornada, muito obrigada. Mylena, que desde o Cirandinha até o ICE esteve do meu lado; Giovanna, minha companheira de estudos e ouvinte de desabafos; Izabella, que nunca me deixou desistir e que se faz presente sempre, meu ombro amigo e minha companheira de vida, obrigada por tanto amor compartilhado, você faz tudo ser mais especial; Lethícia, que viveu comigo de perto cada fase da minha vida até aqui, que tem sempre a palavra certa no momento ideal, que faz tudo ser mais leve e mais doce e que é a minha sintonia, eu te amo e sou muito grata por nossa amizade, obrigada por me cativar, sem você eu não chegaria até aqui. Eu amo vocês!

Às amigadas que fiz na faculdade e que levo para a vida, que foram verdadeiros presentes, obrigada por fazerem parte deste sonho diretamente e por tornarem todo o período universitário mais leve! Paula, a primeira amiga que fiz e que é para sempre, sem você eu não seria metade do que sou hoje, obrigada por dividir essa jornada comigo e por acreditar em mim quando eu mais preciso, eu te amo! Renata, que

apareceu no momento que eu mais precisava e que foi minha grande incentivadora, saiba que essa conquista também é sua e que, se este sonho vai ser realizado, é porque tem muito de você comigo! E Vivian, que me ensinou muito do que sabe e que criou parte das lembranças mais divertidas que tenho na faculdade, muito obrigada!

Às oportunidades que tive durante minha caminhada na faculdade, meu muito obrigada! Aos anos de monitoria, de diretório acadêmico, de iniciação científica e de estágio na Empav, só tenho a agradecer por cada experiência única, aprendizados adquiridos e cada amizade feita nestes períodos. Cada vivência dessas me reconectou com meu propósito e engrandeceu, mais do que meu lado profissional, meu lado humano. Agradeço também à Empresa Petra Agregados, principalmente aos funcionários que foram extremamente solícitos ao me receber de portas abertas e que tanto contribuíram para o enriquecimento deste trabalho. Além de tudo, sou grata por ter um ensino público, gratuito e de muita qualidade na Universidade Federal de Juiz de Fora e espero retornar para a sociedade tudo que foi conquistado de aprendizado na minha graduação e, com isso, transformar o mundo em um lugar melhor.

Ao meu orientador, Soldati, que foi uma das minhas maiores inspirações na faculdade, que sempre me fez acreditar no meu potencial e que é um exemplo em todos os aspectos, sou muito grata por você ter transformado minha graduação! Suas palavras sempre incentivadoras e positivas me marcaram e por isso só tenho a te agradecer; o mundo precisa de mais pessoas com o coração tão bom quanto o seu!

Às professoras convidadas da banca, Júlia e Tati, obrigada por fazerem parte deste momento tão especial da minha graduação e por serem grandes inspirações na minha vida acadêmica e pessoal! Obrigada por cada conversa e ensinamentos dentro e fora de sala de aula, levo vocês no meu coração!

À Taciele Alcolea, uma das minhas maiores inspirações e que tem muito da minha admiração, que compartilha diariamente seus sonhos e conquistas, obrigada por me inspirar a ser minha melhor versão e por me fazer acreditar em mim sempre. Com você aprendi a ser mais grata e a admirar o processo, não só a linha de chegada!

Por fim, concluir este ciclo é grande parte da realização de um sonho e é muito mais gratificante do que eu poderia imaginar! Fico feliz por toda minha trajetória até aqui e sei que ainda posso ir muito mais longe. É só o começo de mais um capítulo da minha história!

“Seja a mudança que você quer ver no mundo!” – Mahatma Gandhi

RESUMO

A prática da mineração e a atividade de desmonte de rochas são de suma importância para o desenvolvimento socioeconômico brasileiro; além de serem indispensáveis para a engenharia civil, possuem impacto significativo na economia. Ocorre que, com o crescimento populacional cada vez mais acelerado, o meio ambiente não acompanha este ritmo de exploração dos recursos naturais. Neste contexto, dada a relevância do setor de mineração e seu potencial de crescimento, faz-se necessária a adoção de medidas sustentáveis em todas as etapas do processo de desmonte de rochas. O foco deste estudo consiste no apontamento dos impactos gerados na atividade de desmonte de rochas, tal como apresentar as medidas de mitigação socioambientais necessárias para o sucesso e a segurança do empreendimento. Para isso, é apresentada uma pesquisa bibliográfica acerca de trabalhos já existentes sobre este tema; em complemento, o leitor é apresentado a um estudo de caso local que trata da realidade empresarial no ramo e que aborda as principais medidas sustentáveis implementadas na empresa atualmente. Os principais impactos gerados no processo de desmonte de rochas são vibração do terreno, sobrepressão atmosférica, emissão de ruídos, ultralancamentos de fragmentos rochosos e geração de poeira. É muito importante realizar o correto monitoramento, controle e registro de cada atividade para reduzir os impactos e promover maior segurança antes, durante e depois da exploração de uma jazida. Seguir as normas e recomendações de órgãos especializados, além de promover e incentivar uma boa relação com os trabalhadores e a com a comunidade local, é essencial para o sucesso do empreendimento. Desta forma, sabendo-se que cada tipo de desmonte de rocha apresenta vantagens, desvantagens e potencial particular de geração de diferentes impactos, conclui-se que cabe aos profissionais especializados definir o método escolhido, as técnicas adequadas e apresentar medidas de controle de todo o processo, mitigação de impactos gerados, redução de resíduos e desperdícios, além de acompanhamento completo da obra. Por fim, ressalta-se a importância de haver mais estudos nesta área, além da necessária participação do governo com campanhas de conscientização, controle e fiscalização rigorosos e implementação de políticas públicas na área que irão contribuir com um desenvolvimento mais sustentável.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável. Redução de Impactos Ambientais. Mineração em Pedreiras.

ABSTRACT

The practice of mining and rock dismantling activities are of paramount importance for Brazilian socioeconomic development; In addition to being indispensable for civil engineering, they have a significant impact on the economy. It turns out that, with increasingly accelerated population growth, the environment is not keeping up with this pace of exploitation of natural resources. In this context, given the relevance of the mining sector and its growth potential, it is necessary to adopt sustainable measures at all stages of the rock dismantling process. The focus of this study consists of highlighting the impacts generated by the rock dismantling activity, as well as presenting the socio-environmental mitigation measures necessary for the success and safety of the project. To this end, a bibliographical research on existing works on this topic is presented; In addition, the reader is presented with a local case study that deals with the business reality in the sector and that addresses the main sustainable measures currently implemented in the company. The main impacts generated in the rock dismantling process are ground vibration, atmospheric overpressure, noise emission, ultra-release of rock fragments and generation of dust. It is very important to correctly monitor, control and record each activity to reduce impacts and promote greater safety before, during and after exploring a deposit. Following the standards and recommendations of specialized bodies, in addition to promoting and encouraging a good relationship with workers and the local community, is essential for the success of the enterprise. Therefore, knowing that each type of rock blasting has advantages, disadvantages and particular potential for generating different impacts, it is concluded that it is up to specialized professionals to define the chosen method, the appropriate techniques and present control measures for the entire process, mitigation of impacts generated, reduction of waste and waste, in addition to complete monitoring of the work. Finally, the importance of more studies in this area is highlighted, in addition to the necessary participation of the government with awareness campaigns, rigorous control and inspection and implementation of public policies in the area that will contribute to more sustainable development.

Keywords: Sustainable Development. Reduction of Environmental Impacts. Mining in Quarries.

LISTA DE SIGLAS

ANM	Agência Nacional de Mineração
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração Mineral
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
MP	Materiais Particulados
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
RAP	Relatório Ambiental Provisório
Rima	Relatório de Impacto Ambiental

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
1.1.	JUSTIFICATIVAS.....	10
1.2.	OBJETIVOS.....	16
1.3.	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2.	METODOLOGIA	18
3.	DESENVOLVIMENTO	20
3.1.	GEOLOGIA.....	20
3.2.	MECÂNICA DAS ROCHAS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.....	23
3.3.	TIPOS DE LAVRAS E MÉTODOS DE DESMONTE DE ROCHAS.....	27
3.4.	SOBRECARGA AMBIENTAL.....	31
3.4.1.	Vibração do terreno.....	33
3.4.2.	Sobrepessão atmosférica e emissão de ruídos.....	34
3.4.3.	Ultralaçamento de fragmentos rochosos.....	35
3.4.4.	Geração de Poeira.....	36
3.4.5.	Medidas de mitigação dos impactos.....	36
4.	ANÁLISES.....	43
5.	ESTUDO DE CASO.....	49
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
	REFERÊNCIAS.....	57
	ANEXO A – Entrevista na íntegra realizada com a empresa Petra Agregados.....	59

1 INTRODUÇÃO

Em 2022 a população mundial atingiu a marca de 8 bilhões de pessoas e, segundo dados da Organização das Nações Unidas, a previsão é de que, em cerca de 15 anos, essa marca ultrapasse os 9 bilhões (ONU, 2022). Tal crescimento da população tem acompanhado a exploração e o consumo dos recursos naturais. Contudo, com os recursos cada vez mais escassos, aliado ao avanço tecnológico e produtivo, faz-se necessária a inclusão da temática da sustentabilidade nas mais diversas áreas.

De acordo com LASSU (2023), “a palavra ‘sustentável’ provém do latim *sustentare* (sustentar; defender; favorecer, apoiar; conservar, cuidar)”. LASSU (2023) explica ainda que a sustentabilidade abrange vários níveis de organização, desde o local até o planetário, além de ser um conceito sistêmico e que se relaciona com a continuidade dos processos econômicos, sociais, culturais e ambientais globais.

Em complemento, WWF-Brasil (2023) apresenta a definição de desenvolvimento sustentável que surgiu na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pelas Nações Unidas para discutir e propor meios de harmonizar dois objetivos: o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental; tem-se então que “desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, garantindo a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro”. Desta forma, nota-se a importância de se pensar e colocar na prática o desmonte de rochas mais sustentável.

1.1 JUSTIFICATIVAS

Os recursos geológicos sempre foram indispensáveis para o avanço da sociedade e para sua modernização e evolução. Desta forma, é extremamente importante que a exploração destes recursos seja feita da forma mais sustentável possível, visando reduzir ao máximo os impactos socioambientais provenientes desta atividade (Silva, 2019b).

Neste contexto, Silva (2019a, p.1) destaca que “em tempos de colapso e desperdícios ambientais, torna-se essencial a adoção da economia circular, centrada na redução, reutilização, restauração e regeneração de materiais e energia em circuitos fechados”. Este autor também ressalta que o modelo econômico atualmente empregado de extrair, fabricar, usar e descartar produtos e energias não é uma prática sustentável e que já está em seu limite.

A produção e o uso de rochas constituem atividades de extrema importância para a engenharia civil como um todo, mas também para a economia, para a geração de empregos e para o desenvolvimento do país e da sociedade, mas isso não apaga os impactos gerados nesse processo. Conforme é destacado por Pontes *et al.* (2015, p.1), “a atividade de mineração no Brasil, no curso dos últimos anos, tem apresentado um progresso expressivo, constituindo-se num dos setores responsáveis por gerar riquezas ao país”. Os autores ainda ressaltam que apesar da importância econômica deste setor, como toda a atividade humana, o desmonte de rochas tem resultado em difusão de diversos impactos ambientais.

E, em se tratando de um nicho mais específico, La Serna e Rezende (2013, p.605) ressaltam que “o crescimento populacional e o crescimento da quantidade de bens e serviços transacionados num país é um processo que ocorre concomitantemente ao consumo de minerais para uso direto na construção civil”, reforçando a importância do setor mineral para essa área e indicando que o aumento do consumo desses bens está de fato ligado aos avanços da sociedade e da economia.

Outro nicho interessante de comentar é o das rochas ornamentais. De acordo com Freitas (2022), rocha ornamental é todo material rochoso natural submetido a diversos graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer a função estética; são materiais pétreos que têm função de revestimento interno ou externo e é válido destacar esse setor no Brasil, visto sua importância no mercado da construção civil. Os principais tipos de rochas ornamentais comercializados no Brasil são granitos, mármore, ardósias e esteatitos (pedra sabão).

As rochas ornamentais são extraídas da natureza em lavras, que representam o “conjunto de operações realizadas visando a retirada de determinado bem mineral” (ABNT, 2013, p.13), com grande potencial de produção. Após sua extração, passam por processos de beneficiamento que, de acordo com a NBR 15012 (ABNT, 2013, p.11), é “toda atividade desenvolvida em unidades de beneficiamento ou na própria mina, para a obtenção de produtos” para atender à demanda do mercado consumidor.

Além disso, outros autores também explicam e destacam a importância da temática de sustentabilidade nos processos de desmonte de rochas.

Estudos sobre os procedimentos adotados no desmonte de rocha, em conjunto com o crescimento do impacto ambiental e a necessidade do conhecimento humano, evidenciam que os problemas ambientais gerados pelo desmonte são incompatíveis com o processo de regeneração do meio ambiente, apesar de

ser essencial para o ciclo da exploração mineral (Pontes; Lira; Lima, 2013, p.3).

Estes autores ainda ressaltam os impactos mais comumente gerados em cada fase do desmonte e a importância de se ter maior controle e implementar políticas sustentáveis nesse processo. Além disso, trazem também o destaque para a carência de literatura técnica e de proposições práticas sobre o tema desta pesquisa.

Durante a fase de operação do desmonte de rocha e deposição do estéril, tanto a mineração a céu aberto quanto a subterrânea modificam e degradam o meio ambiente, uma vez que promovem a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio onde está inserida. Seu reflexo pode expandir-se além da área diretamente afetada, apresentando um grau de impacto ambiental de alta magnitude, como nos casos onde há contaminação por metais pesados ou a ocorrência de drenagem ácida, atingindo os corpos d'água, causando danos à fauna e à flora e aos trabalhadores envolvidos. Assim sendo, é nítida a importância de se aplicar um modelo de gestão ambiental na atividade do desmonte de rocha, com o objetivo de melhorar as condições do meio, a saúde e segurança do trabalhador, permitindo dessa forma obter indicadores de eficiência. No entanto, não se tem conhecimento, na literatura pesquisada, de estudos que incluam a aplicação de um modelo de ferramentas de gestão ambiental, como produção mais limpa na atividade do desmonte de rocha utilizando substâncias explosivas. Existem linhas de pesquisa que estudam a produção mais limpa em casos específicos de projetos de desenvolvimento de produto, enfocando a influência do conhecimento na busca de soluções. Portanto, não foi encontrado nenhum estudo com a preocupação efetiva de propor um sistema de gerenciamento do conhecimento na aplicação da produção mais limpa no desmonte de rocha (Pontes; Lira; Lima, 2013, p.245).

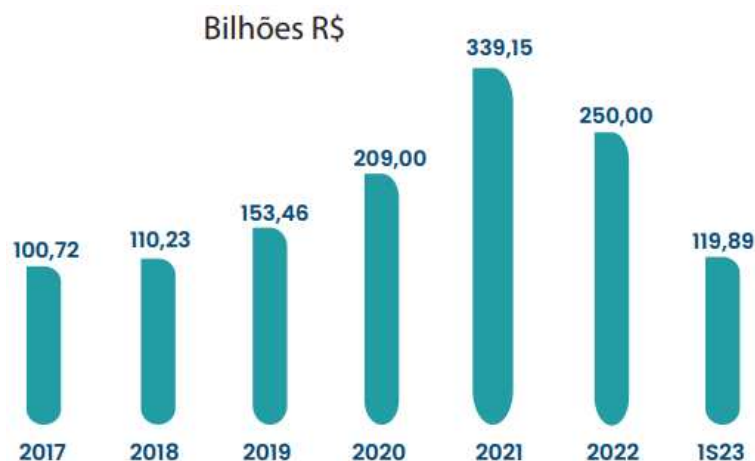
Vale destacar que, mesmo se tratando de uma fonte de 10 anos atrás, ainda que de lá para cá o tema tenha ganhado mais destaque e seja foco de mais pesquisas e estudos, percebe-se que até o presente momento existem poucas literaturas acerca da temática de sustentabilidade na prática do desmonte de rochas e, portanto, destaca-se a importância de se incentivar estudos nesta área.

Sobre a evolução dessa área, análises do IBRAM acerca de dados da ANM demonstram o crescimento nacional do setor de rochas e minerais ao longo dos últimos anos (IBRAM, 2023), sendo a queda em 2022 bastante justificável devido aos reflexos da pandemia de Covid-19¹. Pode-se observar isso melhor no Infográfico 1, que demonstra o faturamento do setor (item

¹ A pandemia de COVID-19 foi um surto global da doença causada pelo coronavírus SARS-CoV-2. Iniciou-se em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, na China, e espalhou-se rapidamente pelo mundo. Caracterizada por sintomas respiratórios, a doença, oficialmente chamada de COVID-19, resultou em medidas rigorosas de contenção, impactando significativamente a saúde pública, a economia e o modo de vida global.

indicador de crescimento) em diferentes anos, confirmando sua tendência de aumento em 2023, até o momento presente.

Infográfico 1 – Faturamento do setor mineral ao longo dos últimos anos

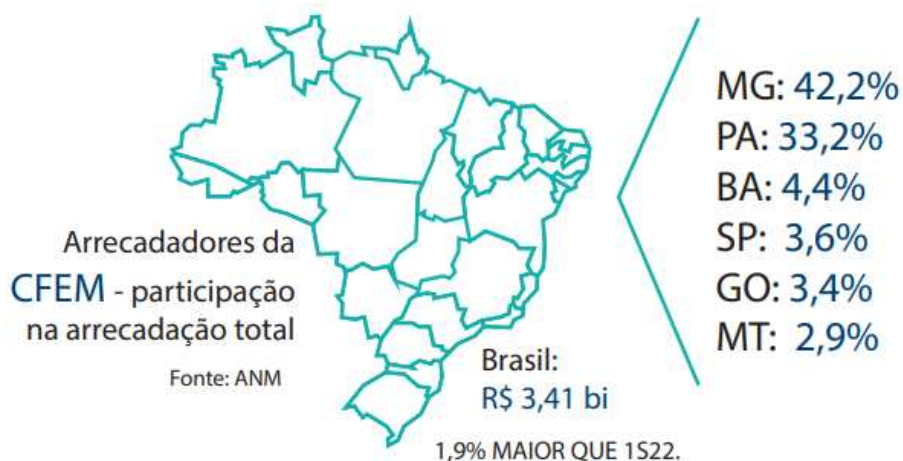


Fonte: ANM, elaboração de IBRAM (2023)

De acordo com IBRAM (2023), “no primeiro semestre de 2023 (1S23), o setor mineral registrou alta de 6% no faturamento em relação ao mesmo período de 2022 (1S22), totalizando R\$ 120 bilhões (excluindo-se petróleo e gás). A arrecadação da CFEM totalizou R\$ 3,41 bilhões, 1,9% maior que o 1S22 (R\$ 3,35 bilhões)”.

É interessante destacar a porcentagem de participação do estado de Minas Gerais, estado de realização deste estudo, na arrecadação supracitada, em relação ao primeiro semestre do ano de 2023, como pode ser visto no Infográfico 2.

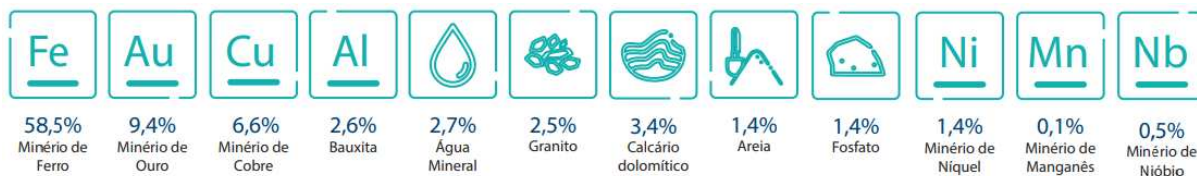
Infográfico 2 – Arrecadadores da CFEM



Fonte: IBRAM (2023)

Além disso, as principais substâncias produzidas no referido período de tempo, tal como sua participação no faturamento do setor, podem ser observadas no Infográfico 3.

Infográfico 3 – Principais substâncias produzidas no primeiro semestre de 2023



Fonte: IBRAM (2023)

Em relação aos agregados para construção civil, La Serna e Rezende (2013, p.602) apontam:

[...] são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros.

Os autores ainda ressaltam que os agregados são abundantes no Brasil e no mundo e que podem ser naturais (que se encontram de forma particulada na natureza, como areia, cascalho e pedregulho) ou artificiais (produzidos por algum processo industrial, tais como pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas). Além disso, La Serna e Rezende (2013, p.602) destacam:

a mineração de agregados para a construção civil gera grandes volumes de produção, apresenta beneficiamento simples e, para melhor economicidade, necessita ser produzido no entorno do local de consumo, geralmente áreas urbanas, devido ao baixo valor unitário. Este setor é o segmento da indústria mineral que comporta o maior número de empresas e trabalhadores e o único a existir em todos os estados brasileiros.

Com isso, percebe-se que o setor de mineração e produção de agregados é altamente participativo na economia nacional, além de caracterizar-se por ter proximidade com a vizinhança local. Logo, os impactos naturalmente gerados nesta atividade devem ser mitigados para contribuir com o sucesso do empreendimento, com o crescimento do setor, com o bem-estar e a segurança da população no entorno e com a preservação do meio ambiente.

Além de tudo, a ONU estabeleceu, nos anos 2000, uma série de metas a serem realizadas visando promover o desenvolvimento sustentável em todo o mundo, conhecidas como ODM (Objetivos de Desenvolvimento do Milênio), que consistiam em 8 objetivos inter-relacionados e que abordavam os principais desafios globais (Nações Unidas no Brasil, 2023). Mais tarde,

em 2015, os ODM estabeleceram as bases para a agenda de desenvolvimento global 2030 e foram substituídos por ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), 17 itens definidos durante a Cúpula de Desenvolvimento Sustentável em Assembleia Geral da ONU (Nações Unidas no Brasil, 2023). De acordo com Nações Unidas no Brasil (2023), “os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade” consistindo em objetivos interconectados e que abrangem uma ampla gama de questões socioeconômicas e ambientais, como desigualdade, fome, pobreza, mudanças climáticas, degradação ambiental, saúde, educação, igualdade de gênero, entre outros, a fim de alcançar um futuro mais sustentável para todos. Os ODS são integrados e interdependentes, reconhecendo que o progresso em um objetivo está ligado ao progresso em outros. Os 17 ODS podem ser conferidos na Figura 1.

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Nações Unidas no Brasil (2023)

Dentre os 17 ODS, neste trabalho o destaque vai para os que estão mais ligados ao tema da sustentabilidade na prática do desmonte de rochas e cujas diretrizes de realização se enquadram na temática abordada, sendo eles: ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura (este objetivo visa promover a construção de infraestruturas resilientes e sustentáveis, bem como estimular a industrialização mais ecológica; neste contexto, o desmonte de rochas sustentável pode ser parte integrante de práticas industriais que visam minimizar os impactos ambientais e promover uma gestão mais eficiente dos recursos naturais), ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis (objetivo que almeja tornar as cidades e demais locais de permanência humana inclusivos,

seguros, resilientes e sustentáveis; desta forma, o desmonte de rochas sustentável pode ser relevante para construção de edifícios, infraestruturas urbanas e desenvolvimento de comunidades de forma mais ecológica, garantindo a conservação dos recursos naturais e reduzindo os impactos ambientais gerados nesta atividade), ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis (tal objetivo se concentra em promover padrões sustentáveis de consumo e produção; no contexto do desmonte de rochas, isso pode envolver práticas responsáveis em relação ao uso de recursos minerais, como a adoção de técnicas de extração que minimizem a degradação ambiental, o uso eficiente de recursos e a gestão adequada de resíduos) e ODS 15 - Vida Terrestre (que tem como objetivo proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres; o desmonte de rochas mais ecológico visa garantir que a extração de materiais rochosos seja feita de forma a minimizar o impacto negativo sobre a biodiversidade, habitats terrestres e ecossistemas associados).

Visto isso, percebe-se a necessidade de se implementar políticas sustentáveis à prática do desmonte de rochas e também de haver mais trabalhos e publicações nesta área, uma vez que essa atividade impulsiona o desenvolvimento do país, mas gera impactos econômicos, sociais e ambientais. Dada a importância dessa atividade e visto seu potencial de crescimento no cenário atual e futuro, aliar e implementar práticas sustentáveis no desmonte de rochas é algo necessário e que trará impactos positivos para o meio ambiente e para a sociedade.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho visa destacar a importância da atividade de mineração e desmonte de rochas para a economia nacional e o desenvolvimento da sociedade como um todo, além de demonstrar a relevância de se implementar práticas sustentáveis nas diversas etapas que constituem essa atividade.

O foco deste estudo consiste em apontar os impactos socioambientais gerados e quais suas interferências no meio ambiente e na vida das pessoas no entorno (tanto os trabalhadores quanto a população local). Assim é possível apresentar, com base em bibliografias existentes, medidas de mitigação desses impactos e normas regulamentadoras para a atividade de desmonte de rochas.

Por fim, busca-se apresentar um estudo de caso (com uma empresa local) que corrobora com a temática deste trabalho e que possa servir de inspiração para haver mais estudos nessa área, além de incentivar, cada vez mais, a implementação de práticas sustentáveis nas empresas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 denominado “introdução” apresenta ao leitor o primeiro contato com o tema abordado trazendo a contextualização do assunto, além de apresentar a caracterização do problema, tal como a justificativa de estudo sobre a importância da sustentabilidade nas atividades de mineração e desmonte de rochas. Nesse capítulo que consiste em uma visão geral sobre o tema, também constam os objetivos do presente estudo.

O capítulo 2 intitulado “metodologias” apresenta as ferramentas e estratégias de ação utilizadas para realização deste trabalho e posterior elaboração deste documento.

O capítulo 3 “desenvolvimento” traz ao leitor conceitos, definições e explicações melhor detalhadas sobre diversas temáticas específicas que estão incluídas no tema geral “sustentabilidade em desmonte de rochas”. Em geral, o capítulo trata de geologia na engenharia, mecânica das rochas, comportamentos e propriedades dos maciços rochosos, métodos e tipos de desmonte de rochas, sobrecarga ambiental gerada com essa atividade, além da apresentação de medidas de mitigação dos impactos existentes e também de normas regulamentadoras.

No capítulo 4 denominado “análises”, o leitor é apresentado a um compilado geral de informações sobre os diferentes tipos de desmonte de rochas, além dos principais impactos socioambientais gerados com essa atividade. A partir disso, é realizado um comparativo entre os diferentes métodos de desmonte de rocha e seus impactos, levando em consideração a finalidade e indicações principais para utilização de cada um.

O capítulo 5 “estudo de caso” traz um exemplo real de políticas sustentáveis implementadas atualmente, analisando uma situação local e apresenta, para além do compilado teórico encontrado em bibliografias, como é a realidade atual da produção na área de desmonte de rochas, em função de dados de uma empresa regional.

No capítulo 6, “considerações finais”, o leitor é guiado para reflexões e conclusões sobre toda a temática versada. O fechamento do trabalho se dá neste item com apresentação de propostas, desafios encontrados, perspectivas futuras e cenário promissor para o crescimento da discussão acerca do tema, dada sua relevância e importância.

2 METODOLOGIA

A fim de contribuir com a publicação e divulgação de trabalhos sobre a temática da sustentabilidade em desmonte de rochas, para este estudo é apresentada, de acordo com a classificação de Gil (2019), uma revisão de literatura (espécie de pesquisa bibliográfica) acerca de trabalhos já existentes sobre o tema de interesse. O levantamento e posterior fichamento bibliográfico foi pautado em livros, teses, artigos e demais publicações e trabalhos científicos que contemplam o assunto de desmonte de rochas e que apontam aspectos sustentáveis dentro da atividade mineradora.

O levantamento de referências foi feito em bibliotecas físicas e virtuais, utilizando a plataforma Google Acadêmico e também o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), bem como outras fontes digitais de relevância acadêmica.

Por fim, com a finalidade de complementar e enriquecer este trabalho, realizou-se uma entrevista com uma empresa local para trazer exemplos de políticas já implementadas na região, contribuindo com conhecimentos sobre o tema e demonstrativo de práticas sustentáveis reais já em funcionamento. Fez-se a pesquisa de campo com visita ao local e uma entrevista com especialistas da área, visando conhecer as políticas sustentáveis da empresa aplicadas na produção de agregados, contando também com apresentação de propostas, desafios encontrados e perspectivas futuras.

O contato inicial com a empresa Petra Agregados foi realizado via *e-mail* e também através de formulário de contato disponibilizado pela empresa em seu *site*; nesse primeiro momento, foi explicitado o objetivo da pesquisa, a sua relevância e a necessidade/importância de colaboração da empresa neste estudo. Com a entrevista agendada, a empresa foi informada previamente da lista de perguntas (esquematizada seguindo uma ordem lógica) e isso permitiu que fossem selecionados os funcionários mais adequados ao tema da pesquisa para participar da entrevista.

De acordo com a classificação de Gil (2019), pode-se dizer que foi realizada uma entrevista semiestruturada e face a face. A entrevista consistiu em uma conversa guiada mais detalhada com funcionários da empresa que possuem vasto conhecimento e experiência específica em relação ao tema e objeto de estudo do trabalho. A entrevista foi planejada e guiada de forma a envolver um roteiro de perguntas, mas também permitir a flexibilidade dos entrevistados em explorar determinados tópicos com mais profundidade e detalhamento. Além disso, vale

ressaltar que dois funcionários da empresa realizaram a entrevista juntos. Por fim, foi elaborado um termo de consentimento que contém as devidas assinaturas do responsável legal da empresa e dos entrevistados, obtendo-se assim uma autorização legítima formal para gravar o áudio da entrevista (a fim de otimizar o processo), utilizar as respostas fornecidas pelos entrevistados na presente pesquisa e também para divulgação de informações sobre a empresa.

Com a finalização da entrevista, houve a transcrição do áudio gravado e o texto foi enviado para revisão da empresa. Após realizar os mínimos ajustes solicitados, obteve-se o produto final desta entrevista, que se encontra completa no ANEXO A.

Todas as perguntas presentes na entrevista foram elaboradas visando a maior compreensão da realidade de uma empresa do ramo de desmonte de rochas e também buscando conhecer as medidas sustentáveis que são atualmente aplicadas na empresa. Além disso, buscou-se compreender, dentro dessa temática quais os desafios encontrados e as perspectivas futuras da empresa. Logo, têm-se as perguntas 5, 9 e 11 mais direcionadas para atender ao objetivo de destacar a importância da atividade de desmonte de rochas para o desenvolvimento do país e da sociedade, além de apresentar a relevância de se implementar práticas sustentáveis no ramo; as perguntas 1, 2, 3 e 4 relacionam-se, por sua vez, com os objetivos de apresentar os impactos socioambientais gerados com o desmonte de rochas e suas respectivas medidas de mitigação. Por fim, as perguntas 6, 7, 8 e 10 atendem ao objetivo de conhecer a realidade empresarial, além de suas percepções para o futuro e também desafios encontrados na prática da sustentabilidade no desmonte de rochas.

3 DESENVOLVIMENTO

Para compreender o desmonte de rochas e consequentemente entender os impactos gerados nessa atividade, faz-se necessário o entendimento prévio de assuntos como geologia na engenharia, mecânica das rochas e propriedades dos materiais, como é exposto a seguir.

3.1 GEOLOGIA

Chiossi (2013) diz que “a Geologia é definida como a ciência que trata da origem, evolução e estrutura da Terra, por meio do estudo das rochas. Compreende um vasto campo, que pode ser dividido em dois grupos gerais: Geologia Teórica ou Natural e Geologia Aplicada”. Este autor ainda ressalta que há um grande número de subdivisões dentro dos grupos gerais, como é exposto no Esquema 1.

Esquema 1 – Subdivisões da Geologia

Geologia	Teórica ou natural	Geologia física	Mineralogia Petrografia Sedimentologia Estrutural Geomorfologia
		Geologia histórica	Paleontologia Estratigrafia
	Aplicada	Econômica	Mineração Petróleo
		Engenharia	Projetos e construção em Engenharia Civil: túneis, barragens, estradas, canais, metrô, água subterrânea, fundações etc. Meio Ambiente: resíduos sólidos, deslizamentos, saneamento básico etc.

Fonte: Chiossi (2013)

E em complemento ao que foi definido anteriormente, de acordo com Silva (2019b, p.9):

o conceito de Geologia provém de dois vocábulos gregos: *ge* (terra) e *logos* (estudo). Trata-se da ciência que analisa a forma interna e externa do globo terrestre, encarregando-se de estudar as matérias que formam o globo e seu respectivo mecanismo de formação. Também enfoca as alterações que essas matérias têm sofrido desde sua origem e o atual estado de sua colocação.

O planeta Terra possui uma estrutura interna que pode ser representada por 3 camadas distintas: litosfera ou crosta, manto e núcleo. A litosfera, parte mais externa da Terra, pode ser dividida

em duas partes: sial (parte mais superficial, composta principalmente de silício e alumínio, caracterizada por rochas de constituição granítica) e sima (camada subjacente ao sial, com composição básica de silício e magnésio, sendo representada por rochas do tipo basáltico). Esta camada mais superficial é então representada por rochas, que são agregados naturais de um ou mais minerais (sendo mineral definido como toda substância inorgânica natural de composição química e estruturas definidas). Os minerais são os elementos constituintes das rochas e estas, por sua vez, podem ser divididas em três tipos principais, de acordo com seu processo de formação: magmáticas (ou ígneas), sedimentares e metamórficas (Chiossi, 2013).

Em complemento, Geraldi (2011) comenta que a geologia estrutural foca principalmente na análise da estrutura das rochas e de suas características fundamentais. Essas características se originam tanto nos processos de formação dos maciços rochosos (quando estão em um estado plástico) quanto nas deformações mecânicas subsequentes (quando estão em um estado rígido) e essas peculiaridades conferem traços específicos a cada tipo de formação rochosa, o que pode resultar em condições geotécnicas que impactam diretamente em escavações de rocha, estabilidade de taludes, qualidade de fundações, escavações de túneis e de outras estruturas subterrâneas.

Ainda acerca desta temática, Silva (2019b, p.9) diz que:

a Geologia Estrutural estuda as estruturas da crosta terrestre. Desse modo, analisa a relação entre as diversas rochas que a compõem. Algumas características estruturais do maciço rochoso são de grande importância, principalmente para o desmonte de rocha por explosivos. A geologia muitas vezes determina a altura das bancadas em escavações a céu aberto, quer pela estabilidade das faces, quer pela própria adequação das malhas de perfuração e do tipo de explosivo. A Geologia é um domínio científico fundamental para a compreensão dos fenômenos envolvidos na fragmentação de rochas com recurso à utilização de explosivos. O conhecimento dos parâmetros geológicos e geotécnicos que caracterizam os maciços rochosos e modelizam seu comportamento é a base para a compreensão dos mecanismos de ruptura das rochas, de propagação e de dissipação da energia associada à detonação.

Geraldi (2011, p.9) explica que as formações rochosas mais antigas do planeta Terra “são resultados do embate entre as forças gigantescas da natureza, que se manifestaram internamente (vulcões e terremotos) e externamente (ação de fenômenos meteorológicos sobre a superfície do planeta)” e que tais ocorrências deixaram suas marcas gravadas nas rochas que compõem os chamados horizontes geológicos. Sobre as formações rochosas mais recentes, o autor destaca que “é possível estudá-las observando a superposição sequencial das camadas de sedimentos em grandes depósitos formados pela ação desagregadora da crosta terrestre, provocada por

fenômenos meteorológicos”. Este autor ainda comenta que o horizonte geológico do Brasil é heterogêneo, abrangendo formações rochosas desde o Eon Arqueano até o Período Quaternário.

O país possui uma diversidade de classes e tipos de rochas, incluindo aquelas formadas por magmas, processos vulcânicos, grandes depósitos de rochas sedimentares e formações gigantescas de rochas metamórficas. Desde os primeiros estudos geológicos, as formações rochosas brasileiras foram categorizadas em duas unidades fundamentais: embasamento cristalino e bacias sedimentares. Enquanto o embasamento cristalino abrange cerca de 5 milhões de km² e inclui rochas arqueanas, magmáticas e de alto grau de metamorfismo, as bacias sedimentares ocupam mais de 50% do território brasileiro, abrangendo extensas áreas em todas as regiões do país (Geraldi, 2011).

Com base nesta gama de informações apresentadas, mostra-se necessária a inclusão da geologia de engenharia nas ações humanas; isso pode ser feito atribuindo a elas um fator geológico que leve em consideração informações e soluções sociais e ambientalmente corretas e seguras, visando a mitigação dos impactos gerados e buscando também o sucesso técnico e econômico.

De acordo com Geraldi (2011, p.29), “o Brasil é considerado um dos países mais beneficiados, em todo o mundo, por suas grandes riquezas minerais” e o autor explica que isto pode ser atribuído às seguintes características do horizonte geológico nacional: diversidade e disseminação das formações geológicas no território brasileiro, com grandes formações de rochas arqueanas; ocorrência de gigantescos processos metamórficos dinâmicos, de grande intensidade e de extensões regionais e existência de grandes depósitos sedimentares.

É importante destacar a diferença apontada por Silva (2019b) entre maciço rochoso (meio descontínuo formado pela rocha e por suas descontinuidades) e material rochoso (material constituinte dos blocos de rocha, delimitados pelas descontinuidades do maciço rochoso).

Confirmando o que foi mencionado nos tópicos introdutórios deste trabalho, Geraldi (2011) explica que desde a utilização de materiais rochosos para construção industrial imediata até a exploração de petróleo, pedras ornamentais, metais e minérios estratégicos e ricos, o fornecimento de matéria-prima mineral atende praticamente todas as necessidades do Brasil. Além disso, contribui significativamente para o desenvolvimento econômico nacional por meio das exportações minerais, que se destacam como uma das principais atividades do país no mercado internacional.

Geraldi (2011) também destaca que, presentes em grande parte do território nacional, com exceção de parte da Região Amazônica, os materiais rochosos desempenharam um papel significativo no avanço da construção civil brasileira, sendo empregados em diversas aplicações, tais como:

pedra britada, pó de pedra, areias naturais, artificiais, e seixos - utilizados como agregados para concreto e asfalto, lastros ferroviários, filtros e transições em barragens, pistas e pavimentos diversos; placas para revestimentos de pisos e paredes (pedras ornamentais) e blocos de rocha para muros de peso, gabiões e enrocamentos diversos (Geraldi, 2011, p.36).

Chiossi (2013, p.71) diz ainda que “a importância e a utilização das rochas e dos depósitos minerais de sedimentos como materiais de construção em obras de engenharia e na indústria são intensas” e complementa explicando que a exploração de uma pedreira irá depender de três fatores básicos, sendo eles a qualidade do material (incluindo-se sua finalidade), o volume de material útil e a localização geográfica da jazida.

3.2 MECÂNICA DAS ROCHAS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Para falar de rochas e da sua mecânica, antes é necessário entender alguns conceitos básicos anteriores à sua formação, tal como é exposto a seguir.

Geraldi (2011, p.12) informa que “os minerais são substâncias naturais sólidas, de composição química definida (óxidos, hidróxidos e sais minerais), que se formaram a partir da cristalização de magmas e fluidos termais” e explica que “no globo terrestre ocorre uma grande diversidade de minerais que, agregados, formam os diversos tipos de rocha, com idades que podem chegar a bilhões de anos”.

Sendo as rochas agregados de minerais e mineraloides, Chiossi (2013) explica que a rocha é dita como simples quando constituída por um só tipo de mineral e que a rocha é chamada de composta quando mais de uma espécie mineral forma o agregado.

Silva (2019b) explica que, de forma geral, a mecânica estuda a resposta de um material a uma solicitação qualquer. A mecânica das rochas, portanto, busca compreender e analisar as propriedades e o comportamento dos maciços rochosos submetidos a tensões ou variações de suas condições iniciais. Para tal, faz-se necessário o estudo prévio da origem de cada tipo de material rochoso, objetivando melhor entendimento de suas características.

As rochas inicialmente se formaram devido a eventos catastróficos ao longo da história da Terra, seguidos por processos naturais como erosão causada por chuvas, ventos, variação das marés, degelo e atividade vulcânica localizada. Posteriormente, essas rochas passaram por transformações e destruições, resultando em novos tipos de maciços rochosos. As rochas que compõem o planeta são classificadas com base na sua origem, composição mineral (litologia) e estrutura, sendo divididas em três grandes grupos: rochas ígneas ou magmáticas, rochas sedimentares e rochas metamórficas (GERALDI, 2011).

A NBR 15012 (ABNT, 2013) define e explica cada um dos grupos rochosos comentados anteriormente por Chiossi (2013). Tem-se então definido que a rocha ígnea ou magmática é originada pela cristalização de líquidos magmáticos. Se o processo ocorrer lentamente no interior da crosta ou do manto, a rocha é chamada plutônica ou intrusiva. Se a cristalização for rápida na superfície, a rocha é vulcânica, podendo ser extrusiva ou efusiva, formada a partir de materiais expelidos por vulcões. Quando a cristalização ocorre em pequenas profundidades da crosta, a rocha é denominada subvulcânica. As rochas metamórficas, por sua vez, são aquelas originadas a partir de mudanças mineralógicas e texturais nas rochas preexistentes, causadas por processos no interior da Terra. Essas transformações ocorrem devido a variações nas condições de temperatura e pressão, em presença de fluidos quimicamente ativos. Por fim, tem-se que a rocha sedimentar é a “rocha formada por processos de consolidação dos produtos resultantes da desagregação ou de decomposição de rochas preexistentes ou, ainda, de acumulação de restos orgânicos” (ABNT, 2013, p.2).

Uma curiosidade destacada por Chiossi (2013, p.15) é que:

a composição da crosta da Terra é aproximadamente a mesma das rochas magmáticas, pois a quantidade de rochas sedimentares presentes na crosta é insignificante quando comparada com a das magmáticas. Em volume, ou seja, em profundidade, predominam na crosta as rochas magmáticas, com uma porcentagem de 95% do seu volume total, sendo o restante coberto pelas rochas sedimentares. Em área, ocorre o inverso, isto é, as rochas sedimentares são mais abundantes que as magmáticas, numa proporção de 75% para 25%.

Quanto à caracterização e ocorrência, La Serna e Rezende (2013) explicam que os materiais agregados utilizados na construção civil são provenientes de materiais rochosos variados, consolidados ou granulares, e podem ser fragmentados naturalmente ou por meio de processos industriais. Podem originar-se de rochas sedimentares, tais como arenitos e siltitos, rochas metamórficas como quartizitos, calcários e gnaisses, e rochas ígneas como granito, sienitos, basaltos e diabásios.

Geraldi (2011) explica que, ao planejar obras ou projetos de mineração que envolvem a escavação de grandes volumes de rocha, é crucial realizar estudos, investigações e mapeamentos geológicos iniciais para estabelecer um modelo geoestrutural para a área em questão. Com base nesse modelo, é possível prever o comportamento mecânico dos maciços antes e depois da escavação, permitindo ajustes no projeto, não apenas na localização e geometria das futuras estruturas (bancadas, cortes, valas, cavas, túneis, poços, entre outros), mas também nas metodologias de escavação. Esses ajustes preliminares contribuem para a segurança e produtividade durante os serviços, garantindo maior estabilidade das áreas escavadas e, conseqüentemente, o sucesso do empreendimento. As principais estruturas tectônicas a serem consideradas no modelo geoestrutural são aquelas resultantes de deformações nos maciços, tanto em estado plástico quanto em estado rígido.

Para os maciços em estado plástico (dúctil) têm-se: dobras (“ondulações que podem ser visualizadas em afloramentos e registradas nos maciços, provenientes da deformação regional de camadas de rocha”), zonas de cisalhamento (ocorrem em maciços rochosos que passaram por deformações devido a forças de cisalhamento. As rochas nessas zonas, conhecidas como miloníticas, têm granulometria fina com fragmentos do maciço ou minerais originais imersos em uma matriz. Essas áreas podem ser extensas e variar em características, litologia e condições geomecânicas), foliações - xistosidade, gnaissificação (se aplica às feições planares, ou seja, camadas, que caracterizam as rochas metamórficas; a xistosidade é uma foliação planar que resulta da orientação paralela de minerais, conferindo a algumas formações metamórficas uma estrutura em camadas) e lineações (“feições de aspecto linear, orientadas e definidas pelo eixo de alongamento dos minerais durante os processos de deformação”) (Geraldi, 2011).

Para os maciços em estado rígido (rúptil), destacam-se as juntas/fraturas (descontinuidades sistemáticas que se agrupam em famílias ou sistemas, seguindo orientações preferenciais sem movimentação aparente nos blocos fraturados) e falhas (“descontinuidades onde, diferentemente das juntas, os blocos separados sofreram movimentação, atritando-se uns contra os outros e provocando fragmentações e cominuições nos maciços rochosos”) (Geraldi, 2011).

Chiossi (2013) explica que algumas propriedades das rochas terão mais valor para sua classificação, enquanto que outras serão determinantes para a possibilidade de emprego da rocha. Para a caracterização das rochas, as propriedades que mais interessam são as químicas (composição química, reatividade e durabilidade), as físicas (cor, densidade, porosidade, permeabilidade, absorção, dureza, módulo de elasticidade e coeficiente de Poison), as

geológicas (composição mineralógica, textura, estrutura, estado de alteração, fraturas, gênese), as mecânicas (resistência à compressão, ao choque, ao desgaste, ao corte e à britagem) e as geotécnicas (grau de alteração, de resistência à compressão simples, de consistência e de fraturamento). Chiossi (2013, p.55) ainda ressalta que “para determinado fim a que se destina a rocha, nem todas as propriedades necessitarão ser conhecidas e que caberá a um técnico indicar as necessárias, as desejáveis e as não necessárias”.

Para que os materiais derivados das rochas tenham as mais diversas utilizações, os materiais rochosos de origem devem atender a determinadas especificações técnicas, sendo as mais importantes dureza e tenacidade, baixa abrasividade, composição mineralógica adequada (com ausência de elementos reativos e sujeitos a alterações por intemperismos), resistência a polimentos, resistência à compressão, baixa capacidade de absorção de líquidos, apresentar formas equidimensionais e regulares das partículas (quando britados) e apresentar maior resistência à flexão (quando serrados) (Geraldi, 2011).

Como complemento a este assunto, sabe-se ainda que

as propriedades mecânicas da rocha são uma variedade das propriedades físicas. Manifestam-se sob a ação de forças mecânicas externas e são expressas pela capacidade das rochas de opor resistência à deformação e à desagregação. Entre elas, figuram resistência mecânica, solidez, resistência dinâmica, dureza, elasticidade, plasticidade, fragilidade, abrasividade, etc. A investigação e o estudo das propriedades físicas e mecânicas das rochas são necessários para a escavação, a perfuração e o desmonte por explosivo dos maciços rochosos (Silva, 2019b, p.18).

É interessante destacar que ensaios e normas técnicas são aplicados na pré-seleção de jazidas de materiais rochosos para a construção civil brasileira. E, de acordo com a NBR 15012 (ABNT, 2013, p.13), jazida é a “ocorrência de rochas ou minerais em quantidade, teor e características físico químicas e reservas que, aliada a condições suficientes de infraestrutura e localização, permite a sua exploração econômica”.

Para diversas finalidades, Geraldi (2011) explica que diferentes tipos de rochas podem ser adotados, tais como granitos, sienitos, basaltos, granodioritos, gnaisses, migmatitos, calcários, dolomitos, quartzitos e xistos, considerando suas características e resistências específicas. Na produção de agregados para pedra britada, diversas rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares são empregadas, enquanto que para revestimentos, há uma ampliação das opções, incluindo granitos, quartzitos e basaltos, diversificando continuamente o mercado.

A indústria mineral brasileira, impulsionada pelo desenvolvimento tecnológico, não se limita mais à exportação de matéria-prima bruta, competindo internacionalmente na exportação de produtos acabados, especialmente no setor de revestimentos de rochas, que anteriormente só utilizava os mármore, ardósias e folhelhos (por serem de corte e polimento mais fáceis) e passou a utilizar também granitos, alguns tipos de quartzitos e até mesmo basaltos, riolitos e diabásios, diversificando a oferta de rochas ornamentais para pisos e revestimentos, conforme explica Geraldi (2011).

A obtenção de blocos de rocha para alvenaria e obras específicas inclui praticamente todas as rochas utilizadas na produção de agregados. No entanto, para enrocamentos com blocos de maior porte, como molhes marítimos, apenas formações maciças, de baixo grau de fraturamento e sem foliações, são adequadas às especificações. Normalmente, granitos, migmatitos e gnaisses provenientes de formações cristalinas maciças são empregados para essa finalidade, enquanto em formações basálticas e calcárias, blocos soltos preexistentes são preferidos devido à dificuldade na produção de blocos maiores, resultante da grande fragmentação causada pelo uso regular de explosivos (Geraldi, 2011).

3.3 TIPOS DE LAVRAS E MÉTODOS DE DESMONTE DE ROCHAS

É interessante iniciar dizendo que “a qualidade do desmonte é função da qualidade de perfuração da rocha” (TALK, 2020).

Geraldi (2011, p.91) explica que:

denomina-se como escavações ou desmonte de rochas ao conjunto de metodologias, técnicas de escavação mecânica ou com o auxílio de explosivos, instrumentações e serviços auxiliares necessários para escavar, desmontar, fragmentar ou cortar maciços e blocos rochosos, atendendo a projetos de obras civis ou à produção de minérios para fins industriais. Neste conjunto de metodologias, de acordo com o horizonte geológico da área do empreendimento, incluem-se desde as escavações mecânicas em mantos provenientes da alteração de maciços rochosos ou em sedimentos não consolidados até as escavações em maciços mais resistentes, formados por rochas alteradas e rochas sãs.

Em relação à classificação do desmonte de rochas, existem dois tipos principais. O primeiro refere-se a escavações/desmonte a fogo, com explosivos e o segundo é caracterizado por ser realizado a frio, por processos mecânicos e/ou com auxílio de materiais expansivos. Além disso, pode-se subdividir os tipos de desmonte de rochas quanto ao seu ambiente de realização e para

atender a diferentes finalidades, denominando-se escavações a céu aberto, escavações subterrâneas (quando em ambiente confinado) e escavações subaquáticas (Geraldi, 2011).

Chiossi (2013) explica que o método de exploração de uma pedreira requer uma série de equipamentos e trabalhos que possuem uma ordem de execução definida, como sendo:

- a) limpeza do material estéril que recobre a rocha sã, por meio de tratores;
- b) marteletes para perfuração da rocha;
- c) explosivos a serem colocados nos furos a marteletes;
- d) carregadeiras para transportar até os britadores o material fragmentado pelas explosões;
- e) britadores e rebitadores para fragmentar os blocos de rocha em vários tamanhos menores;
- f) peneiras para seleção dos fragmentos;
- g) correias transportadoras para levar cada tipo de brita ou fragmento para o seu silo;
- h) lavadores para retirar o pó que se associa aos fragmentos.

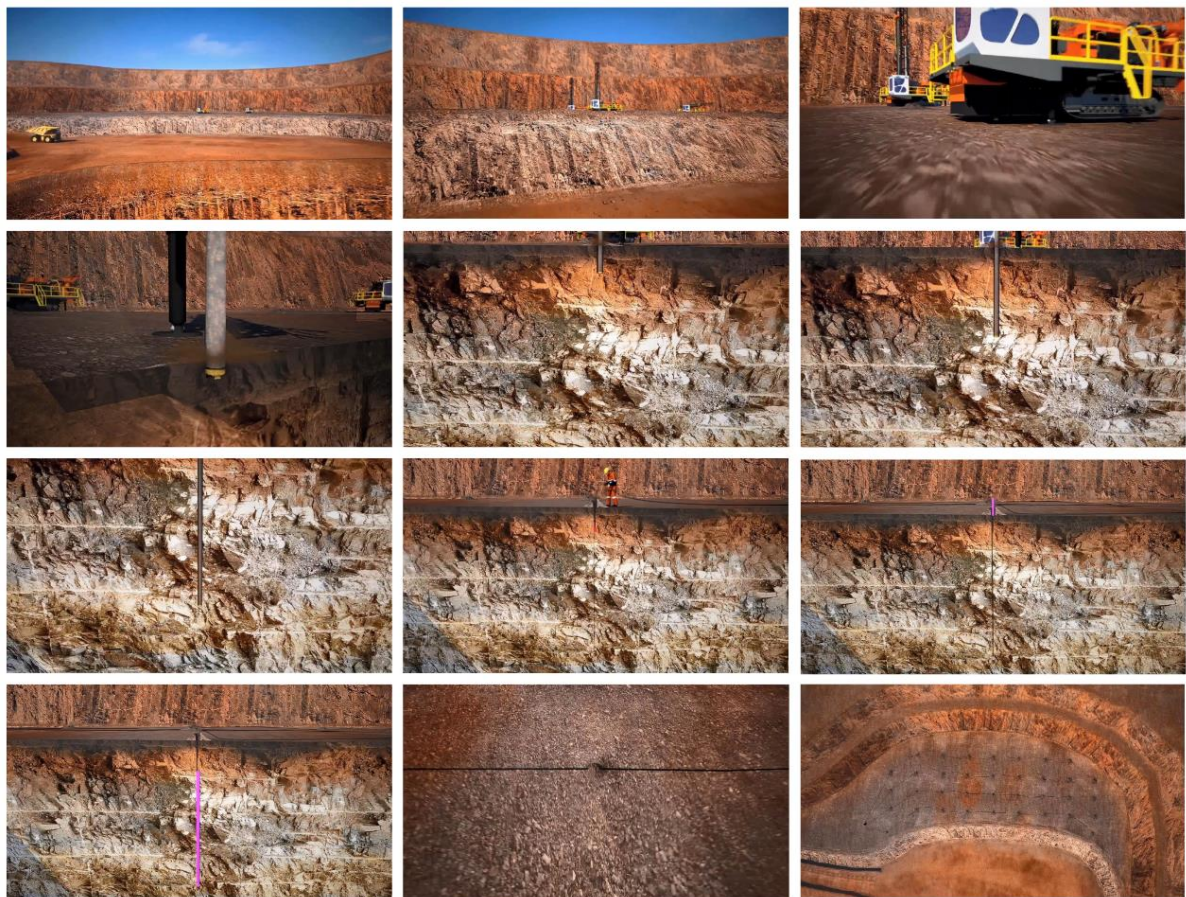
Para atividades como abertura de cortes em rocha, desmonte em bancadas, desmonte de blocos de rocha, abertura de valas e trincheiras, abertura de cavas de fundação, regularização de topo rochoso, cortes e desmonte controlado para obtenção de blocos de rocha, é interessante optar por uma escavação à céu aberto. As escavações subterrâneas são indicadas para abertura de túneis e galerias, abertura de poços verticais, aberturas de cavernas e câmaras subterrâneas. Por fim, para atividades como ampliação de portos e vias navegáveis, correções e ampliação de calha ou passagem de dutos especiais sob leito de rios, faz-se uso da escavação subaquática (Geraldi, 2011).

Chiossi (2013, p.72) destaca que “em geral, as pedreiras abertas para a obtenção de pedra britada (para a confecção de concreto, pavimentação ou mesmo a obtenção de blocos para revestimento de fachadas de edifícios) estão localizadas em rochas ígneas ou metamórficas”. Além disso, o autor explica que, de preferência, uma pedreira deve ter algumas especificações mínimas para a sua exploração: a rocha deve ser durável e estar inalterada e o local deve apresentar pequena cobertura de solo, possuir topografia favorável (encostas ou faces íngremes que facilitem o desmonte) e não possuir nível freático a pequena profundidade.

O professor Valdir Silva (TALK, 2020) comenta em curso virtual - ministrado com o objetivo de apresentar as soluções mais eficazes, seguras, econômica e ambientalmente viáveis para o desmonte de rochas com a utilização de explosivos - que existem duas grandes áreas que contemplam as principais aplicações do desmonte de rochas por explosivos: a engenharia civil

(nas áreas de infraestrutura, fornecimento de energia, mobilidade urbana) e a engenharia de minas (na lavra de bens minerais, que são tão importantes para o desenvolvimento da sociedade). Com destaque para a engenharia de minas e obtenção dos bens minerais utilizados no cotidiano, o palestrante explica que a atividade de operações mineiras é bastante ampla, pois contempla desde o transporte, a perfuração (com diversos modelos de perfuratrizes para atuarem em vários tipos de rochas com diferentes litologias), a alocação dos acessórios iniciadores (que provocam uma grande detonação) e dos explosivos principais, até a sequência de detonação (que quando bem planejada diminui a vibração do entorno de onde ocorre o empreendimento e também proporciona uma melhor fragmentação da rocha). Na Figura 2 são apresentadas as etapas sequenciais citadas anteriormente.

Figura 2 – Sequência de operações minerais



Fonte: Acervo do professor Valdir Silva (TALK, 2020)

Silva (2019b) traz a definição de plano de fogo como sendo:

[...] o projeto executivo para o desmonte (escavação) de rochas com o uso sistemático de explosivo, em que serão definidos e apresentados

preliminarmente o plano de perfuração, a qualificação e a quantificação dos explosivos e os esquemas de ligação e iniciação entre os furos que serão detonados.

Geraldi (2011) explica que as escavações a frio, com técnicas, equipamentos e materiais especiais, são comuns na construção civil, mas têm sido aprimoradas, especialmente na mineração para produção de blocos de rocha com finalidade de fabricação de pisos e revestimentos. O desenvolvimento nessa indústria resultou em novas ferramentas que reduzem a necessidade de explosivos nos cortes de rocha. A restrição ao uso de explosivos em áreas urbanas e requisitos ambientais mais rigorosos também impulsionaram o desenvolvimento de equipamentos especiais para escavações a frio de túneis em rocha.

Acerca das técnicas de desmonte escultural, Geraldi (2011) diz que essas são aplicadas em escavações de rocha a céu aberto para obter taludes com definição geométrica aprimorada, reduzindo *overbreaks*² e mitigando os efeitos das cargas explosivas. Em escavações subterrâneas, essas técnicas produzem paredes e contornos bem definidos, promovendo maior segurança e preservando as condições geomecânicas dos maciços. Além da estabilidade aprimorada nas áreas escavadas, essas técnicas facilitam a aplicação de revestimentos de concreto, minimizando volumes extras que seriam necessários para preenchimentos em vazios e escavações além das linhas de corte estabelecidas nos projetos.

Silva (2019b, p.146) destaca as vantagens do desmonte de rochas a céu aberto e também aponta possíveis consequências deste método:

[...] pode-se dizer que não existe limite quanto ao número de furos a executar nem quanto à altura da bancada. No entanto, sabe-se que, quanto mais alta esta for, mais perigosa se tornará, resultando também em perfurações (desvios) mais difíceis e maior vibração do terreno (maior carga de explosivo por furo).

Silva (2019b) explica ainda que, apesar de a utilização de explosivos ser a maneira mais eficiente e economicamente viável para executar a escavação da rocha na mineração e na construção civil, estima-se que apenas 20% a 30% da energia dos explosivos é de fato usada na fragmentação da rocha e, portanto, o restante dessa energia acaba provocando impactos ao meio ambiente. Dessa forma, há certo risco em potencial, ou, no mínimo, a geração de incômodo para as estruturas e as pessoas que vivem nas vizinhanças de minas e de escavações.

² Escavações além da linha de projeto.

“Como, ao contrário de outras atividades econômicas, a mineração não tem a liberdade de escolher o local de atuação, já que está condicionada à rigidez locacional, torna-se necessário elaborar um bom planejamento da lavra da mina e realizar o monitoramento de suas operações” (SILVA, 2019b, p.286).

3.4 SOBRECARGA AMBIENTAL

Para Braga *et al.* (2002), a crise ambiental pode ser descrita considerando-se três aspectos básicos: crescimento populacional, demanda de energia e de materiais e geração de resíduos, ou seja, poluição.

Conforme destacam La Serna e Rezende (2013, p.605), “as areias e rochas de emprego na construção civil são abundantes na natureza. Entretanto, fatores exógenos à geologia influenciam a relação entre o quantitativo de reservas existentes e aquelas realmente disponíveis para o uso”, indicando que a exploração inevitável destes recursos naturais deve ser feita da maneira mais ecológica possível.

Além disso, existem restrições econômicas significativas ao explorar depósitos de agregados devido ao baixo valor unitário destes materiais na construção, o que demanda a minimização da distância entre as áreas de extração e o mercado consumidor. Geralmente, jazidas localizadas a mais de 100 km do mercado consumidor são consideradas economicamente inviáveis para a maioria das regiões (La Serna; Rezende, 2013). Desta forma, para que uma empresa possa explorar uma área com tais motivações e sem ter implicações significativas na vizinhança (que possam até mesmo inviabilizar o empreendimento), faz-se necessário mitigar os impactos gerados durante a extração e o processamento de agregados na mineração, já que nestes processos tem-se poluição sonora e do ar, além de vibrações e até mesmo casos de ultralancamentos de fragmentos rochosos.

Neste contexto, Silva (2019b, p.275) explica que:

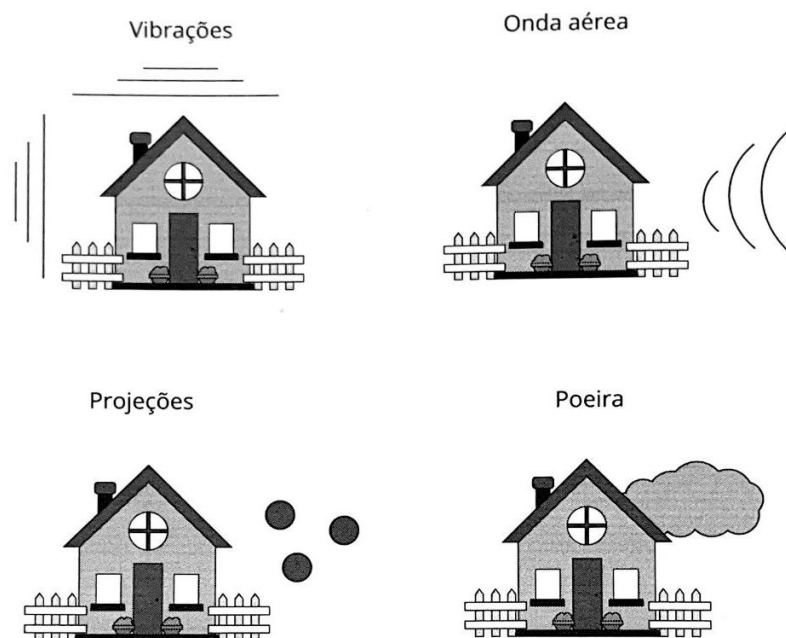
O emprego de explosivos na construção civil e na mineração é uma prática corriqueira em razão de seu custo-benefício. Escavar a rocha com explosivos é um direito das empresas habilitadas, porém, ao mesmo tempo, é um direito inalienável do cidadão ter a integridade estrutural de seu imóvel preservada durante as detonações. A escavação de rochas por explosivos, quando feita de maneira correta - com equipe experiente e devidamente treinada - e com o atendimento às normas pertinentes, é um procedimento técnico necessário para o bom desenvolvimento de empreendimentos que beneficiam toda a população de uma dada região. Entre eles, pode-se mencionar obras de combate a cheias e de melhoria da mobilidade urbana, bem como a lavra de

bens minerais para o desenvolvimento e o bem-estar da sociedade. No entanto, como toda e qualquer atividade sujeita a riscos, o desmonte de rocha por explosivos pode ser alvo de conflitos socioambientais pela geração de alegados incômodos, como a vibração do terreno, a emissão de ruídos, o ultralancamento e a geração de poeira.

O autor ainda ressalta que a detonação de uma carga explosiva contida em um furo gera pressões instantâneas que podem variar dependendo das características e da quantidade do explosivo utilizado. Além disso, é importante dizer que a energia de uma detonação se subdivide em 3 partes. Parte da energia gerada pelo explosivo trabalha na quebra e no lançamento da massa rochosa; outra porção é transferida diretamente para o maciço rochoso na forma de ondas de choque instáveis, de alta velocidade, que se propagam através do maciço de maneira ondulatória, provocando vibrações até que a energia se dissipe; por fim, uma terceira parcela da energia de detonação é transmitida para a atmosfera, resultando em ruídos e ondas aéreas (sobrepessão atmosférica).

Na Figura 3 estão exemplificados os principais impactos gerados pela atividade de desmonte de rochas, sendo estes vibrações, onda aérea, projeções e poeira.

Figura 3 – Principais perturbações originadas pelo desmonte de rochas



Fonte: Silva (2019b)

Os diversos impactos ambientais gerados no processo de desmonte de rochas podem ser identificados nas diferentes fases desta atividade, visto que cada etapa da exploração de uma jazida tem diferentes influências no meio ambiente e impactam de maneiras diversas na

comunidade presente no entorno do empreendimento. Dito isso, pode-se aprofundar em cada tipo de impacto mais recorrente e, ao final do capítulo, são propostas medidas de mitigação específicas e gerais.

3.4.1. Vibração do terreno

“Genericamente, uma vibração é um movimento oscilatório de um material, sólido ou fluido, que foi afastado de sua posição de equilíbrio” (Silva, 2019b, p.276).

E, em se tratando de geotecnia, Silva (2019b, p.278) complementa dizendo que “a vibração é tida como uma resposta elástica do terreno, constituído por solos e/ou rochas, à passagem de uma onda de tensão, com origem direta ou indireta numa solicitação dinâmica, de gênese natural ou artificial”.

Geraldi (2011, p.149) diz que “as vibrações e impactos de ar provocados pelas detonações, podem causar danos ao meio ambiente, a edificações vizinhas e ao próprio maciço rochoso no qual se trabalha”.

Silva (2019b) explica que as vibrações nos terrenos têm origem na aplicação de forças exteriores com tempo de atuação muito curto ou de forças contínuas com intensidade variável ao longo do tempo e que estas podem ser classificadas em contínuas, transitórias e intermitentes. As contínuas mantêm um nível de vibração constante por longos períodos, como em maciços de fundação de máquinas em funcionamento regular. As vibrações transitórias, por outro lado, resultam de impactos súbitos seguidos por um tempo de repouso prolongado, como em terrenos sujeitos à compactação dinâmica ou detonação de cargas explosivas isoladas. Por fim, tem-se as vibrações contínuas caracterizadas por uma sucessão de eventos vibratórios de curta duração, como na detonação de cargas explosivas microrretardadas ou perfuração por percussão.

Silva (2019b) diz que uma rocha é submetida a uma perturbação, ela responde deformando-se, sem romper, devido às suas propriedades elásticas distintas e constantes em cada feição geológica. Quando um explosivo detona em um furo, ondas de tensão causam distorções e fissuras no maciço rochoso. No entanto, imediatamente fora dessa área, não ocorrem deformações permanentes; em vez disso, há uma rápida atenuação das ondas de tensão, resultando em propriedades elásticas no terreno. As vibrações geradas pelos desmontes de rocha por explosivos são transmitidas através dos materiais como ondas sísmicas, cuja frente se desloca radialmente a partir do ponto de detonação.

3.4.2. Sobrepressão atmosférica e emissão de ruídos

Braga *et al.* (2002, p.210) dizem que “o conceito de som (ou ruído) vem da física acústica: é o resultado da vibração acústica capaz de produzir sensação auditiva. O som, como poluição, está associado ao ruído estridente ou ao som não desejado”. Além disso, os autores destacam que “para fins práticos, o som é medido pela pressão que ele exerce no sistema auditivo humano. Na medida em que essa pressão provoca danos à saúde humana, comportamentais ou físicos, ela deve ser tratada como poluição”. Como características do som e/ou ruído, Braga *et al.* (2002, p.210) explicam que “a intensidade depende da amplitude do movimento vibratório, da superfície da fonte sonora, da distância entre o ouvido e a fonte e da natureza do meio entre a fonte e a receptor”.

Os principais efeitos danosos do ruído à saúde humana são perda auditiva (temporária ou permanente), interferência na fala, perturbações do sono, estresse e hipertensão, dores de cabeça e alterações neurológicas, além de incômodo e desconforto, perturbações no trabalho e perda de rendimento (BRAGA *et al.*, 2002).

Além disso, Silva (2019b, p.291) destaca que:

as sobrepressões atmosféricas decorrentes das atividades de desmonte de rocha por explosivos são causadas por movimentação da rocha, emissão dos tampões, emissão dos gases através dos tampões e das fendas da rocha, colisão dos fragmentos projetados, afastamentos incorretos e falta de cobertura dos cordéis detonantes.

Isso ocorre porque, sempre que um explosivo é detonado, são geradas ondas transitórias de pressão e o ar, sendo compressível, absorve parte dessa energia. À medida em que essas ondas se propagam, a pressão do ar aumenta rapidamente além da pressão atmosférica e, antes de retornar a um valor inferior a essa pressão, passam por uma série de oscilações. A pressão máxima, superior à pressão atmosférica, é chamada de sobrepressão atmosférica ou pressão acústica. Essas pressões contêm energia em diferentes faixas de frequência (Silva, 2019b).

Silva (2019b, p.290) explica ainda que:

a sobrepressão atmosférica contém uma considerável quantidade de energia de baixa frequência, que pode produzir danos diretos às estruturas, porém são mais comuns as vibrações de alta frequência, que se manifestam na forma de ruído de janelas e portas, por exemplo. Ao atingir uma residência, a sobrepressão atmosférica de baixa frequência provoca vibrações nas estruturas. Os elementos flexíveis (paredes, pisos, teto etc.) e os objetos fixados a eles (quadros, lustres, persianas, móveis, louças etc.) são muito

sensíveis a essa sobrepressão. Muitas vezes, sua intensidade só é percebida pelos residentes quando os objetos em mesas, armários e estantes começam a chacoalhar, ocorrendo, assim, uma vibração secundária, o que provoca a reação imediata desses objetos.

Além disso, é importante comentar os efeitos da sobrepressão atmosférica no ser humano e nas estruturas. Para os seres humanos os riscos vão de queda, ruptura do tímpano, lesões nos pulmões e até mesmo a morte. No caso das estruturas, o que é observado consiste principalmente em quebra de vidraças, danos mínimos em construções, danos em painéis metálicos, falha de painéis de madeira, falha em paredes de tijolo, rompimento de tanques de refinarias, danos em edifícios (estruturas metálicas), danos em estruturas concretadas e até provável destruição total da maioria das construções, a depender dos níveis de sobrepressão atmosférica (Silva, 2019b).

Por fim, Silva (2019b, p.292) destaca que:

os gradientes do vento e as inversões de temperatura podem afetar os níveis da sobrepressão atmosférica. Coberturas de nuvens também podem causar a reflexão da onda de pressão de volta para a superfície a uma certa distância do local do desmonte. A topografia e a geometria das formações geológicas podem conduzir à reflexão e à concentração de frentes de ondas em determinados pontos. Vários são os fatores que podem influenciar a variação da pressão acústica, como a distância do desmonte ao local de preocupação, a orientação da face livre, as inversões térmicas, a geologia local, o tipo de carga explosiva, os afastamentos utilizados, a altura e o tipo de material do tampão, a carga máxima por espera, os desvios de perfuração, o excesso de carga, os erros de cálculo dos elementos de retardo, entre outros.

3.4.3. Ultralançamento de fragmentos rochosos

Para Geraldi (2011, p.161),

pode-se considerar como ultralançamento o arremesso, com grandes velocidades, de fragmentos de rocha provenientes de uma detonação, excedendo a distância de lançamento frontal prevista ou, principalmente, ocorrendo de forma anômala, sem uma direção definida. [...] Normalmente a origem destas ocorrências está na má aplicação dos principais parâmetros do plano de fogo, a partir da perfuração da rocha.

Essa projeção de fragmentos rochosos simboliza grande riscos à integridade física dos trabalhadores, pode provocar danos aos equipamentos e à infraestrutura da mina (escritórios, oficinas, linhas de transmissão, rede de comunicação, usinas, entre outras instalações), bem como representa ameaça aos moradores e às residências do entorno (Silva, 2019b).

Silva (2019b) atribui a causa dos ultralanchamentos a procedimentos e fatores como: pequena longitude do tampão; afastamento excessivo ou pequeno demais; tempo de retardo muito curto; ineficiência do material utilizado no tamponamento dos furos; alto grau de confinamento entre os furos e/ou as linhas; dispersão nos tempos de retardo; irregularidades na face da bancada; energia excessiva ou insuficiente do explosivo; desvios na perfuração; presença de vazios e rochas macias no maciço rochoso e utilização de explosivo bombeado em rochas altamente fraturadas.

A NBR 9653 (ABNT, 2018) diz que o ultralanchamento não pode ocorrer além da área operacional do empreendimento, respeitadas as normas internas de segurança referentes à operação de desmonte.

3.4.4. Geração de Poeira

“No caso de poluição atmosférica, entende-se por material particulado as partículas de material sólido e líquido capazes de permanecer em suspensão, como é o caso da poeira” (Braga *et al.*, 2002, p.172). Associados aos processos de mineração, tais autores também destacam MP (material particulado) como os metais e os asbestos (derivados da exploração e beneficiamento do amianto e que causam sérios problemas à saúde quando presentes na atmosfera). É ainda comentado por eles o efeito de *smog industrial*³ que, basicamente, é formado pela emissão de dióxido de enxofre e de MP.

A poeira gerada durante os procedimentos de desmonte de rochas também pode se depositar sobre áreas de vegetação ou de corpos d’água, gerando impactos negativos na fauna e flora dos ecossistemas locais (TALK, 2020).

3.4.5 Medidas de mitigação dos impactos

Para Braga *et al.* (2002, p.216), “uma primeira forma de classificar as medidas destinadas ao controle da degradação ambiental seria separá-las em medidas preventivas e medidas corretivas”. Logo, quanto à natureza das medidas de controle, as preventivas consistem em

³ É a chamada “nuvem cinza” que cobre as cidades industrializadas e que consiste em uma mistura de poluentes atmosféricos, incluindo partículas em suspensão e gases tóxicos. Seus picos de poluição ocorrem no inverno, principalmente em dias de inversão térmica e provocam problemas como a chuva ácida, precipitação que contém ácidos provenientes de poluentes atmosféricos, e podem ter impactos significativos na qualidade do ar e na saúde humana.

antecipar para impedir ou minorar a ocorrência dos fatores de degradação; os autores destacam que, apesar deste tipo requerer planejamento e gerenciamento de recursos econômicos, é preferencial adotar tais medidas pois elas costumam estar associadas a custos de implantação menores e também por mostrarem-se mais eficazes quando implementadas antes que ocorra a degradação ambiental, evitando não só custos de natureza econômica, mas também impactos ambientais e sociais que, embora nem sempre mensuráveis em termos monetários, não deixam de ser significativos. Por outro lado, as medidas corretivas se referem a um fato que já ocorreu e são, apesar de necessárias para situações existentes, em geral onerosas e muitas vezes de implementação difícil.

Os autores também classificam as medidas em estruturais e não estruturais, diferenciando-se por envolver ou não a execução de obras, a instalação de equipamentos e por terem custos substanciais; além disso, as não estruturais procuram intervir nas causas que podem originar ou agravar um problema, evitando assim que ele ocorra ou permitindo seu controle e, em sua maioria, necessitam de apoio legal e regulamentar, demandando uma abordagem integrada e abrangente das questões envolvidas. Sua implementação é geralmente mais demorada, exigindo a colaboração de diversos participantes e negociações extensas para conciliar interesses conflitantes.

Neste contexto, tem-se a NBR 9653 (ABNT, 2018), que é uma norma técnica bastante útil na atividade de mineração, pois define a metodologia para reduzir os riscos associados ao desmonte de rochas com o uso de explosivos na indústria de mineração e construção, estabelecendo parâmetros compatíveis com a tecnologia disponível para garantir a segurança das populações vizinhas. Ela aborda danos estruturais e fornece procedimentos recomendados para a resposta humana. A norma se concentra nas emissões de ruídos impulsivos, vibrações no terreno e ultralancamentos resultantes do desmonte de rochas por explosivos. A aplicação desta norma é facultativa em minerações localizadas em áreas não urbanas. Contudo, a norma explica em situações que envolvam riscos semelhantes, esta deve ser aplicada. Em situações de proximidade com cavidades naturais subterrâneas e na ausência de estudos específicos para essas situações, de acordo com a norma, esta pode ser usada como referência para avaliações dos efeitos físicos causados pelos desmontes de rochas com explosivos.

Quanto aos aspectos jurídicos em vigor, a extração de agregados para a construção civil pode ocorrer através dos regimes de autorização e concessão ou por meio do licenciamento. No regime de extração, a atividade de lavra pode ser iniciada imediatamente após o registro da

licença concedida pela prefeitura municipal no DNPM e da licença ambiental, que também é requerida para autorizações e concessões) (La Serna; Rezende, 2013).

Chiossi (2013, p.396) explica que “licenciamento ambiental é o procedimento pelo qual toda atividade potencialmente poluidora necessita de autorização do órgão ambiental competente para ser implantada”.

Neste contexto, a resolução nº 237/97 do Conama (CONAMA, 1997) estabelece uma série de atividades em que o licenciamento ambiental é obrigatório, incluindo o órgão estadual competente e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) em caráter supletivo. Diversos estudos devem ser elaborados para a obtenção do licenciamento ambiental, tais como o RAP, o EIA e o Rima, devendo estes ser encaminhados para análise nas Secretarias Estaduais do Meio Ambiente e no Ibama.

Chiossi (2013, p.396) destaca ainda que:

existem três tipos principais de licenças ambientais: a Licença Prévia (LP), concedida na fase preliminar do planejamento; a Licença de Instalação (LI), que autoriza a instalação; e a Licença de Operação (LO), que autoriza a operação do empreendimento, depois de serem comprovadas as medidas exigidas nas licenças anteriores.

“A otimização do processo de desmonte de rochas deve levar em conta a máxima segurança, a máxima fragmentação, o mínimo de impacto ambiental e o mínimo custo” (TALK, 2020).

Em relação às vibrações, é estabelecido na NBR 9653 que os riscos de ocorrência de danos induzidos pelas vibrações transmitidas pelo meio físico devem ser avaliados levando-se em consideração a magnitude e a frequência de vibração de partícula (ABNT, 2018).

Sobre essa mesma temática, Silva (2019b, p.293) diz que “as vibrações induzidas pelos desmontes de rocha podem ser medidas em três diferentes modos: aceleração, velocidade e deslocamento”.

Além disso, para controle das vibrações, é interessante existir um programa de monitoramento das velocidades de vibração do terreno, no qual o sismógrafo (aparelho que registra as vibrações do solo) deve ser fixado fora da residência, para que meça a velocidade de vibração do terreno, e não ao da resposta da estrutura ao estímulo, com exceção apenas para o caso em que se há suspeita de que a residência está entrando em ressonância (Silva, 2019b).

A NBR 9653 (ABNT, 2018) define a pressão acústica como a pressão provocada por uma onda de choque aérea com componentes nas faixas audível e não audível, com duração menor que 1 segundo. Além disso, esta norma limita a pressão acústica (medida além da área de operação) a um valor seguro, que não pode ser ultrapassado.

De acordo com Braga *et al.* (2002, p.214),

o controle dos ruídos pode ser feito na fonte, no percurso ou receptor. O controle na fonte envolve atividades de realocação de equipamentos e ações mecânicas (isolamento acústico, abafadores, confinamento etc.). O controle no percurso é feito pela introdução de barreiras entre a fonte e o receptor. O controle no receptor envolve ações de controle administrativo (limitar a duração da exposição) e a utilização de equipamentos de proteção individual.

Além disso, a NBR 9653 (ABNT, 2018) recomenda os seguintes procedimentos para garantir o conforto das populações vizinhas às minerações: implantação de um sistema de informação à população quanto às atividades de desmonte, envolvendo aspectos como sinalização, horário de detonação, procedimentos de segurança adotados, entre outros; estabelecimento de um registro de reclamações em formulário adequado (que contenha ao menos nome e endereço do reclamante, data e horário do evento gerador de reclamação, tipo de incômodo verificado e providências tomadas pela empresa para minimizar os aspectos relativos ao objeto de reclamação); adoção de medidas adequadas, de forma a minimizar os efeitos para a população, sempre quando constatada a criticidade do impacto alvo da reclamação; adoção, sempre que necessária, de técnicas e insumos apropriados, de modo a minimizar os impactos ambientais; estabelecimento de um setor da empresa responsável pela comunicação com a comunidade por meio de agente familiarizado com as operações de produção; promoção de capacitação para as pessoas envolvidas no processo de desmonte em relação a procedimentos que minimizem os impactos ambientais; manutenção do registro de todos os relatórios, por período mínimo de um ano, para eventual verificação do órgão fiscalizador local e, por último, estabelecimento de um plano de monitoramento das detonações compatível com as necessidades específicas de cada empreendimento.

Para além das recomendações normativas, Silva (2019b) também propõe que outras providências sejam tomadas. Em relação aos níveis de vibração do terreno, o autor sugere que a carga máxima por espera seja reduzida, que sejam utilizados equipamentos especializados para controle da perfuração para que as malhas executadas coincidam com as nominais, que as subperfurações sejam empregadas com as longitudes mínimas necessárias, que sejam selecionados esquemas e sequências de iniciação que evitem a sobreposição de ondas e um alto

nível de confinamento entre os furos e que exista quantificação dos índices de sustentabilidade ambiental da lavra.

Em se tratando de recomendações para reduzir o nível da pressão acústica, Silva (2019b) sugere evitar ou eliminar o uso de cordel detonante (utilizando detonadores de linha silenciosa ou espoletas eletrônicas), aumentar o confinamento das cargas de explosivo empregando material de tamponamento adequado (brita ou plugues), não utilizar explosivos bombeados em maciços altamente fraturados e com presença de cavidades, não disparar os desmontes quando a direção do vento for crítica (devendo-se verificar a direção do vento por meio da biruta), utilizar uma cortina natural de proteção (plantação de eucaliptos) e evitar detonar no sentido do receptor passível de danos.

O ultralancamento de fragmentos rochosos pode ser evitado com a utilização de coberturas na área a ser escavada, conforme explica Geraldi (2011). Elas devem ocorrer, preferencialmente, no topo e nos pés das bancadas e utilizando artifícios e materiais adequados. As coberturas podem ser feitas com solos, areia, pó de pedra ou artefatos metálicos e de borracha, a depender das características do caso de desmonte de rochas em questão.

Quanto à poeira gerada no processo, a utilização de tecnologias mais avançadas, como cortinas d'água e sistemas de vedação ao redor das áreas de trabalho pode ser empregada para minimizar sua dispersão no meio.

Em um contexto mais amplo de gerenciamento dos impactos, Silva (2019b) explica que gerenciar as reclamações da população próxima a empreendimentos de desmonte de rochas por explosivos é desafiador, visto que o nível pessoal de tolerância varia de acordo com fatores subjetivos, como idade, saúde, satisfação com a vida, status socioeconômico, cultura, humor, caráter e preocupações sobre o patrimônio.

De acordo com Silva (2019b), os profissionais sociais e os responsáveis pelo desmonte precisam estar preparados para saber lidar com diferentes perfis de indivíduos, tais como: o preocupado (é honesto e busca compreender se os desmontes ameaçam seu patrimônio e se importa com o bem-estar da família), o cínico (desconfiado, não acredita nas informações fornecidas e, apesar de ser educado, pode pensar em conspiração e tentar influenciar a comunidade), o desequilibrado (antissocial, agressivo, pode se recusar a interagir e até fazer ameaças), o encrenqueiro (geralmente aposentado ou desempregado, com problemas de saúde ou financeiros, reclama de vibrações, ruído e poeira) e o oportunista (busca compensação por

danos pessoais, pode ser chantagista e ameaça recorrer à Justiça se a empresa não ceder às suas demandas).

Neste contexto, são propostas por Silva (2019b) algumas recomendações para uma boa relação da empresa com a comunidade local. Algumas das sugestões consistem em: não realizar detonações durante a semana depois das dezessete horas, nem aos domingos ou durante os feriados; informar à população as datas e os horários dos desmontes de rocha; realizar programas assistenciais e de colaboração com a comunidade; informar à comunidade (através de reunião com a associação de bairro) as ações que estão sendo realizadas pela empresa para reduzir os problemas ambientais gerados durante os desmontes de rocha; criar um canal de comunicação com a população (linha 0800 e/ou grupos de multimídia); permitir que a associação de bairro ou o representante da comunidade acessem os dados dos monitoramentos. Desta forma, busca-se estreitar o relacionamento da comunidade local com o empreendimento e, através da confiança estabelecida, evitar possíveis desavenças e complicações.

Silva (2019b) também traz informações acerca da vistoria cautelar, que tem por objetivo realizar uma análise visual das condições estruturais de moradias e prédios comerciais em um raio de 200 metros, antes do início das escavações por explosivos. O custo dessa vistoria é significativamente inferior às despesas legais decorrentes de ações movidas pelas populações próximas às escavações. Então, esse mapeamento das condições reais das estruturas nas proximidades das detonações serve como registro de controle, proporcionando esclarecimentos futuros sobre possíveis danos às estruturas devido às detonações. O monitoramento durante as detonações de explosivos é de igual importância.

No entanto, Silva (2019b, p.301) destaca que “por motivos dos mais diversos, a condução da vistoria inicial nem sempre ocorre, e as vibrações das detonações em obras são as primeiras a serem enquadradas para estabelecer um nexo de causalidade no âmbito do processo judicial” e aponta algumas das reclamações mais comuns por parte da comunidade como sendo descolamento de revestimentos, trincas em vidros, pisos estufados, portas e janelas emperradas, rachaduras nas paredes, infiltrações, fissuras no chão, nas paredes e no teto, entre outras.

O autor ainda aponta que existem diversas causas de problemas estruturais em residências não decorrentes do desmonte de rochas e dá destaque para recalques, infiltrações, fundações inexistentes ou inapropriadas, má concepção de ligações das paredes a outros elementos, inadequação/incompatibilidade/má qualidade dos materiais prescritos, falta de coordenação

entre os projetos de arquitetura e das especialidades, má execução de verga, incorreta execução dos revestimentos, má execução dos sistemas de distribuição de água e drenagem de águas residuais/pluviais, insuficiente regularização das superfícies acabadas, ações ambientais (como variações térmicas, vento, chuva, exposição solar, poluição atmosférica, ação biológica, entre outras), tráfego pesado, ações de bate-estacas e de rolo compactador do terreno, inexistência de manutenção e também alteração das condições inicialmente previstas (como escavações na vizinhança do edifício, concentração de cargas e de esforços, alteração das condições de utilização). Daí nota-se a importância da vistoria cautelar, para evitar que um problema derivado de outras origens seja enquadrado como causado pela prática do desmonte de rochas.

Logo, com base em tudo que foi apresentado até aqui, pode-se afirmar que uma política ambiental, seja por meio de regulamentação de padrões ou de mecanismos econômicos, como a taxação de poluentes, deve pelo menos resultar na redução da degradação da qualidade ambiental em comparação com a ausência dessa política. Além disso, pode possibilitar melhorias ao atender gradualmente aos padrões de qualidade ambiental estabelecidos. Isso cria um ambiente que atende a diversas demandas (antes impossíveis de serem atendidas), desde aspectos psicológicos ligados ao prazer estético, até benefícios diretos na eficiência produtiva, como a redução de perdas materiais e equipamentos em um ambiente menos agressivo. Essas políticas também têm impacto positivo direto e indireto na saúde, ao promover melhorias na qualidade ambiental por meio de processos físicos, químicos e biológicos (Braga *et al.*, 2002).

4 ANÁLISES

Com base em tudo que foi exposto até aqui e com a bagagem de conhecimento proporcionada com a realização da revisão de literatura, este capítulo apresenta análises subjetivas sobre a temática da sustentabilidade no desmonte de rochas, além de trazer algumas afirmações de autores que corroboram com o que é apresentado.

É válido ressaltar que, a depender das características da jazida, do tipo e das propriedades da rocha a ser explorada, podem ocorrer, em todas as etapas do desmonte de rochas, variações de planejamento, métodos, tecnologias e equipamentos utilizados. Isso é devido ao fato de que cada rocha responde de uma maneira ao que lhe é proposto, fazendo-se necessário encontrar a melhor solução para aplicar a cada projeto.

É importante haver uma avaliação geológica e geotécnica antes que seja iniciado o procedimento de desmonte de rochas. Só assim será possível analisar e compreender a natureza das rochas envolvidas, sua resistência e características estruturais. Além disso, é essencial que seja realizado um planejamento adequado e específico para cada caso particular e que leve em consideração as condições locais, o tipo de rocha a ser escavada, os efeitos ambientais que serão gerados no processo e também requisitos específicos do projeto.

Vale destacar também que a segurança deve ser prioridade nos empreendimentos; isso inclui seguir as normativas vigentes que regulamentem o procedimento, isolar e sinalizar adequadamente a área, além de controle e fiscalização em todas as etapas do processo (inclusive acerca da utilização de equipamentos de proteção individual dos trabalhadores). Caso o desmonte de rochas utilize explosivos, é crucial que sejam seguidos procedimentos rigorosos de manuseio, armazenamento e detonação dos mesmos, além de tais operações serem realizadas apenas por profissionais qualificados e treinados. O treinamento e a conscientização da equipe acerca dos riscos potenciais desta atividade também são pontos bastante importantes para o sucesso do empreendimento. Por fim, monitoramento, controle e registros se fazem necessários em cada atividade do desmonte de rochas e devem ocorrer constantemente a fim de assegurar a segurança socioambiental do empreendimento.

Conforme o que foi observado, pode-se dizer que o desmonte de rochas pode causar diversos impactos na vida da comunidade presente no entorno do empreendimento e também danos significativos ao meio ambiente, como poluição do solo, do ar e da água, erosão e risco de

deslizamentos de terra, degradação do espaço natural, desmatamento, perda de biodiversidade, além do esgotamento e/ou desperdício dos recursos naturais envolvidos nesse processo.

Em resumo, pode-se apresentar um comparativo com as principais aplicações, os impactos gerados e os aspectos sustentáveis dos principais métodos de desmonte de rochas, como pode ser observado a seguir.

O desmonte de rochas com explosivos é um dos mais comumente utilizados na prática de mineração, estando presente em atividades como mineração propriamente dita, construção de túneis, exploração de pedreiras e consiste na detonação controlada da rocha. É um método que requer precisão, planejamento e fiscalização constante para evitar danos não desejáveis. As etapas principais desse método consistem no planejamento, na perfuração, no carregamento dos furos, na detonação, na remoção e no redirecionamento dos blocos de rochas desmontados e, por fim, no monitoramento e reabilitação da área explorada.

Na etapa de perfuração, são executados os furos no maciço rochoso com o auxílio de equipamentos específicos para tal finalidade, como é o caso das perfuratrizes. De acordo com o professor Valdir Silva (TALK, 2020), é de extrema importância a realização correta das perfurações e a utilização de bons equipamentos para aumentar a produtividade e reduzir os custos do empreendimento. Nesta etapa podem ser gerados impactos como vibrações leves, ruídos controlados e, principalmente, poeira, afetando a qualidade do ar no local e com influência negativa na saúde dos trabalhadores da área e das pessoas que moram nas proximidades da exploração da jazida. Para realizar o carregamento dos furos com os explosivos que serão utilizados no procedimento de desmonte da rocha, antes é necessário limpar e remover os resíduos do furo, garantido assim um melhor desempenho da detonação. O tipo e a quantidade de explosivos a serem utilizados e inseridos nos furos são planejados de acordo com a dimensão e a resistência da rocha a ser trabalhada.

A etapa de detonação é uma das mais perigosas dentre todas as atividades realizadas. Nesta etapa, através de uma fonte de ignição controlada, detona-se os explosivos, causando assim a fragmentação da rocha através da onda de pressão gerada inicialmente e que se propaga por ela. Esta etapa, principalmente, requer monitoramento e deve ser realizada seguindo procedimentos de segurança rigorosos, visto que é uma atividade bastante perigosa e de sérios riscos socioambientais. Portanto, ressalta-se a importância da realização desta atividade apenas por profissionais habilitados e qualificados. Durante a detonação, a onda de choque necessária para

fragmentar a rocha tem parte de sua energia dissipada no processo e isso pode danificar estruturas próximas através das vibrações sísmicas, além de causar ruído, desconforto e estresse para as pessoas e animais que vivem nas proximidades. A qualidade do ar e a saúde da população local também são afetadas com a emissão de gases, geração de poeira e demais partículas que ficam em suspensão no ar.

Ao final da detonação, os blocos de rochas fragmentados devem ser removidos da área para que a atividade possa se repetir até o fim da vida útil da jazida. A remoção é geralmente feita com uso de equipamentos pesados, como escavadeiras, carregadeiras e caminhões basculantes. Os blocos podem ser transportados e destinados para sua utilização final, caso já possuam as características adequadas; do contrário, é realizado o transporte deste material para seu uso em outros projetos, ou ainda é notada a necessidade de realização da britagem, que consiste no processamento em sucessivas etapas e com utilização de equipamentos específicos (como é o caso dos britadores), objetivando a redução de tamanho do material fragmentado para utilização futura, a depender das necessidades do empreendimento. Os blocos que não se encaixarem nestas condições, possivelmente terão como destinação necessária o descarte adequado e de acordo com as regulamentações locais. A remoção dos blocos rochosos, conforme comentado, envolve a utilização de equipamentos pesados e isso possui ao menos dois tipos de implicações: com o tráfego recorrente destes maquinários no empreendimento e no seu entorno há geração de poeira e ruído, causando impacto na saúde da população local; além disso, os equipamentos pesados podem causar danos mais diretos ao solo e às estruturas próximas.

Nesse método, os resíduos comumente gerados são as rochas fragmentadas (podendo parte delas ser utilizada como material de construção, a depender de triagem prévia para tal). A mitigação dos impactos, nesse tipo de desmonte, pode ser feita através de utilização de sistemas de abatimento de poeira que reduza sua dispersão na atmosfera, planejamento e controle objetivando a execução correta dos furos para otimizar o processo e evitar ultralanchamentos e emissão de gases tóxicos, além de outras possibilidades mais adequadas a cada contexto.

Pontes *et al.* (2015, p.4 e p.5) destacam que:

os maiores danos ambientais ocorrem na lavra a céu aberto de rochas ornamentais, onde se tem um maior aproveitamento do corpo mineral, gerando maior quantidade de estéril, poeira em suspensão, vibrações e riscos de poluição das águas, caso não sejam adotadas técnicas de controle da poluição. A lavra de rochas ornamentais, frequentemente, apresenta um alto potencial impactante devido a degradação visual da paisagem, ao abandono das lavras, a poeira, o ruído e a vibração. No entanto, poucos minerais desta classe são

tóxicos e o uso de reagentes químicos é limitado. O desmonte dos blocos através de explosivos resulta em ruídos prejudiciais à tranquilidade pública. Ultralançamentos de fragmentos ocorrem devido ao plano de fogo utilizado, é um tipo de impacto com ocorrência no local. Isso requer maior controle da detonação, de acordo com a distância e o tipo de material. A disposição final de rejeitos não constitui o problema mais sério, se destinados aos trabalhos de recuperação das áreas. Entretanto, quando esses depósitos ficam muito volumosos, tornam-se instáveis e sujeitos a escorregamentos localizados.

A escavação mecânica, por outro lado, muito utilizada em obras de infraestrutura, escavações e demolições, faz uso de equipamentos como escavadeiras e martelos hidráulicos para romper a rocha. Pode ser interessante utilizar este método em áreas urbanas ou ambientes mais sensíveis que não permitem o uso de explosivos. O desmonte de rochas mecânico provoca impactos sonoros e de vibrações, só que em menor potência do que o observado com desmonte por explosivos, além de haver também menor emissão de gases poluentes no processo. Os resíduos gerados nesse processo consistem, basicamente, em fragmentos rochosos, tal qual ocorre no desmonte por explosivos e as medidas de mitigação propostas também são bem semelhantes, consistindo em triagem para possível reaproveitamento dos fragmentos rochosos, utilização de sistemas de abatimento de poeira, entre outros.

Existe também o corte com fio-diamantado, utilizado quando se necessita de uma técnica mais precisa e mais controlada para realizar a fragmentação da rocha, sendo seu uso mais comum em rochas ornamentais. Este método tende a gerar menos impactos de ruídos, geração de poeira e vibrações do que os mais tradicionais e, por ser de alta precisão, acaba por minimizar os danos ao entorno. É, portanto, de baixo impacto sonoro, gera menos resíduos finais e, com a alta precisão de execução, reduz o desperdício de materiais.

O desmonte com utilização de materiais expansivos, por outro lado, utiliza a pressão para criar fraturas e promover deslocamentos nas rochas, sendo mais utilizado em demolições controladas.

Os métodos não explosivos, por sua vez, tratam de outros tipos de técnicas para romper a rocha, como jatos de água com alta pressão (bastante utilizado em áreas mais delicadas, ambientes sensíveis e também em rochas mais porosas, já que a fragmentação neste método é feita através da aplicação de água pressurizada nas fendas da rocha), utilização de calor e resfriamento para gerar fraturas na rocha através de expansão térmica e contração, métodos químicos (enfraquecimento da rocha por aplicação de agentes químicos), entre outros.

Geralmente, utiliza-se dos métodos citados anteriormente em ambientes onde os explosivos não são adequados, como vizinhanças urbanas muito próximas ao empreendimento. O desmonte por pressão hidráulica, geralmente produz menos vibração, ruído e, principalmente, menos poeira, em comparação com métodos explosivos e mecânicos; em contrapartida, pode exigir grande consumo de água, provocando impactos nos recursos hídricos locais. Em se tratando de agentes químicos, por outro lado, apesar da vibração, do ruído e da poeira serem bastantes reduzidos com este método, seu uso pode trazer consequências negativas para a biodiversidade local, como contaminação de solos e recursos hídricos.

É importante comentar que após todo o procedimento de desmonte de rochas, é necessário que seja realizado monitoramento ambiental que avalie os impactos gerados ao final do processo e que garanta a recuperação adequada da área explorada, o que pode envolver práticas como reabilitação do solo e de aquíferos próximos, reflorestamento, entre outras medidas que visem restaurar a área impactada, promover a biodiversidade local e minimizar os efeitos negativos do processo. Caso seja feito o descarte incorreto dos resíduos obtidos ao final do processo, podem ocorrer diversos tipos de contaminação do solo e da água na localidade do empreendimento.

Em análise subjetiva, portanto, percebe-se que os métodos de desmonte de rocha mecânico e que utilizam explosivos são os que geram mais impactos e em maior escala. No entanto, sua gama de aplicações é bem mais diversificada do que os demais, que acabam por ser de utilização mais pontual e específica.

Vale ressaltar que os métodos podem ser utilizados isoladamente ou ainda combinados e que a seleção daquele mais adequado à cada situação deve fundamentar-se em uma avaliação criteriosa das circunstâncias que envolvem o projeto, além de necessitar de atenção para que tudo esteja em conformidade com as normas e regulamentações locais. É interessante destacar que as práticas sustentáveis em desmonte de rochas vão além da escolha do método de realização; é necessário haver minimização de resíduos, fazer uso eficiente de recursos, garantir a proteção da biodiversidade local, estar em conformidade com as regulamentações ambientais, promover segurança aos envolvidos direta e indiretamente na atividade e dar todo o suporte necessário à comunidade local.

Silva (2019b) reforça a ideia de que a redução de conflitos e a busca por uma convivência harmoniosa entre as atividades de escavação de rochas e a comunidade local têm sido mais

eficientes quando as empresas responsáveis pelas operações de desmonte de rochas implementam medidas eficazes de mitigação do impacto ambiental.

É válido destacar que sustentabilidade representa uma meta a longo prazo, ou seja, a aspiração por um mundo mais sustentável, ao passo que o desenvolvimento sustentável engloba os métodos e trajetórias utilizados para atingir esse objetivo.

De tal forma, é interessante analisar a sustentabilidade pelo viés holístico, já que ela está interconectada com diversos aspectos e engloba as interações complexas entre sistemas sociais, econômicos e ambientais. É função da prática da sustentabilidade garantir que as atividades humanas possam ser realizadas sem prejudicar as gerações futuras. Logo, na temática do desmonte de rochas, é importante pensar a sustentabilidade como a busca por certo equilíbrio integrativo ao se praticar a exploração de recursos naturais e a busca por se atingir o bem-estar humano das comunidades envolvidas neste processo, além da proteção ambiental, o que envolve ações individuais e também políticas e práticas governamentais e corporativas.

5 ESTUDO DE CASO

Para complementar todo o estudo de revisão bibliográfica apresentado anteriormente, buscou-se analisar políticas sustentáveis reais implementadas no desmonte de rochas de uma empresa local, a fim de unir teoria e prática.

De acordo com WWF-Brasil (2023), nos últimos anos, um número crescente de empresas incorporou práticas de responsabilidade social corporativa em suas estratégias por reconhecerem a conexão essencial entre retorno econômico, ações sociais e conservação da natureza e isso reflete a compreensão de que a prosperidade empresarial está intrinsecamente ligada à saúde do meio ambiente e ao bem-estar da sociedade como um todo. Isso é notado neste estudo de caso, uma vez que a empresa participante do mesmo deixou bem claro, na entrevista, tais percepções acerca do progresso empresarial e de sua relação direta com o bem-estar do meio ambiente e da sociedade.

A Petra Agregados é uma empresa que atua há mais de 20 anos no mercado da construção civil, transformando recursos minerais em agregados. A empresa possui duas unidades no Brasil, localizadas em Matias Barbosa, Minas Gerais e em Queimados, no Rio de Janeiro (Petra Agregados, 2023). Devido à sua relevância local e nacional na área de desmonte de rochas, realizar um estudo de caso com esta empresa foi importante para visualizar, na prática, como funciona a atividade referida e quais medidas sustentáveis são aplicadas para mitigar os impactos gerados. A contribuição da empresa com este trabalho foi bastante enriquecedora e o que foi conversado na entrevista corrobora com o tema desta pesquisa.

Vale ressaltar que a Petra Agregados possui em seu *site* (<https://www.petraagregados.com/>) diversos informativos sobre as iniciativas desenvolvidas, incentivadas e praticadas que visam prevenir e mitigar impactos ambientais, a fim de garantir sua harmonia com o meio ambiente e com a sociedade, contribuindo com a sustentabilidade. Os monitoramentos e controles ambientais divulgados consistem em prezar pela qualidade do ar, praticar uma detonação mais otimizada, reaproveitar água de chuva, promover ações de educação ambiental e também ter a política de portas abertas; cada uma das iniciativas será melhor explicada a seguir.

Sobre a qualidade do ar, Petra Agregados (2023) diz que:

o processo de produção da Petra Agregados implica na emissão controlada de material particulado (poeira) para a atmosfera. Essas emissões são monitoradas e divulgadas conforme normas legais. Com o sistema de medição

realizado pela Petra é possível conhecer toda a concentração de matéria particulada na bacia aérea onde cada planta está localizada. Este controle gera informações claras e confiáveis sobre as emissões, seus impactos e o desenvolvimento de projetos para reduzi-la, como aspersão úmida e a seco.

Já no que diz respeito à detonação, é informado em Petra Agregados (2023) que “o processo de desmonte de rocha utiliza o sistema 'linha silenciosa'. Esta tecnologia reduz o ruído e a vibração das detonações, que são monitorados por um teste de sismógrafo”.

Em relação à água, Petra Agregados (2023) diz que “a água utilizada no processo produtivo da empresa é quase totalmente captada pela chuva. O controle da qualidade da água também é monitorado e apresentado aos órgãos ambientais para atendimento aos parâmetros exigidos”.

Acerca da educação ambiental,

a Petra Agregados promove ações para desenvolver a consciência sobre atitudes sustentáveis entre seus funcionários e a comunidade. Internamente, são realizados treinamentos para a sensibilização de atitudes sustentáveis. Nas comunidades, a empresa investe em parcerias com instituições de ensino e ONGs para promover a educação ambiental (Petra Agregados, 2023).

Por fim, tem-se a política “Petra de Portas Abertas”, na qual

a empresa zela pela transparência das atividades, estando sempre de portas abertas. Alunos de faculdades e escolas são visitas constantes, quando buscam conhecer na prática as medidas de controle ambiental e a gestão da empresa (Petra Agregados, 2023).

É importante destacar que foi, inclusive, a política de portas abertas que facilitou o contato inicial com a empresa. Além disso, a Petra Agregados merece destaque para a exímia disponibilidade e prontidão da mesma em disponibilizar funcionários para realizar a entrevista proposta, contribuindo com o conhecimento buscado neste estudo e com a elaboração do presente trabalho.

Vale ressaltar que o responsável legal pela Petra Agregados autorizou que a empresa fosse identificada e citada no texto deste trabalho. Além disso, foi consentido e concordado, tanto pelo responsável legal, quanto pelos entrevistados, a realização, gravação e publicação da entrevista, cujas questões também foram previamente aprovadas pela empresa.

Dessa forma, no dia 16 de junho de 2023, realizou-se a entrevista presencial com dois funcionários da Petra Agregados na unidade de Matias Barbosa (Minas Gerais), localizada no Centro Empresarial Park Sul (Empresarial Park Sul, 70 - Matias Barbosa - MG / CEP: 36120-000). Nesta unidade, a rocha trabalhada é o gnaiss, rocha metamórfica com predomínio dos

minerais quartzo e feldspato, além de possuir metamorfismo regional de grau médio a alto, ou seja, aquele que surge em massas de rocha que são formadas a profundidade e submetidas a determinadas condições de pressão e temperatura (BRASIL, 2015).

Como a entrevista foi realizada com dois profissionais habilitados da empresa, a conversa foi valorizada com a interação entre os envolvidos, visto que, sempre que necessário, os entrevistados complementavam suas ideias e respostas. A entrevista com essa dinâmica foi de muita relevância, pois promoveu diálogos interessantes e bastante válidos e até mesmo a análise de diferentes percepções sobre um mesmo tópico. A entrevista, na íntegra, pode ser observada no ANEXO A, mas os principais pontos conversados estão apontados e comentados a seguir.

Nota-se que, com o passar dos tempos, a indústria das detonações tem sido modificada para gerar menos impacto para as vizinhanças em si, como vem ocorrendo na Petra Agregados, que tem implementado ao longo dos anos muitas mudanças visando reduzir impactos, aumentar a segurança e, também, reduzir custos e despesas (conforme respostas das perguntas 1 e 6). Atualmente, a empresa pratica o desmorte de rochas com o tempo de detonação coordenado na ordem de milissegundos, evitando com que exista a detonação simultânea de várias minas, que causaria uma vibração muito grande no solo e uma velocidade muito grande de deslocamento do material fragmentado; além disso, o plano de sismografia adotado permite um melhor controle e monitoramento dos efeitos das detonações no entorno. O desmorte mecânico também foi otimizado na empresa e, atualmente, é realizado de maneira mais moderna e com auxílio de maquinário adequado (vide resposta da pergunta 1).

Acredita-se que a fase do desmorte de rochas e da produção da empresa que gera mais impactos ambientais é a rebitagem (processo no qual é necessário diminuir o tamanho do agregado gerado inicialmente), apesar de se saber que há impacto gerado em todo o decorrer da atividade (como pode ser observado na resposta da pergunta 4). No entanto, a função da empresa é otimizar ao máximo os processos e fazer a mitigação do máximo possível de impactos.

As estratégias adotadas para mitigação dos impactos (como pode ser observado na resposta da pergunta 4) iniciam na etapa de perfuração da rocha, com a utilização de um maquinário moderno que não gera poeira para o ambiente nem para o operador (a máquina capta o pó e deposita próximo a ela, sem liberar partículas contaminadas para a atmosfera, como ocorria antigamente). Na etapa de rebitagem, todas as telas foram trocadas para as de borracha (que além de impedirem que a poeira escape com facilidade por alguns pontos, também fazem

diminuir o ruído da produção). Além disso, nas etapas de perfuração e de carga/transporte, que são duas operações na lavra, normalmente é utilizado o caminhão pipa para fazer o abatimento do pó (redução da poeira).

O corpo técnico responsável na empresa, por entender e propor soluções para os impactos ambientais gerados na atividade mineradora, é composto basicamente por uma engenheira sanitaria e ambiental, um engenheiro civil e um engenheiro de minas, que é o responsável técnico da pedreira (vide resposta da pergunta 3). Vale ressaltar que a empresa desenvolve uma cultura onde todos os profissionais envolvidos, direta ou indiretamente no processo, se preocupam com a área ambiental e têm incentivo ao diálogo para informar qualquer percepção de algo que esteja acontecendo; afinal, são os operários que, de fato, estão em contato com o que acontece diretamente em campo e que possuem uma boa noção de tudo que pode ser melhorado (conforme resposta da pergunta 3).

Na etapa de pré-licenciamento são feitos todos os estudos dos impactos que podem ser gerados, positivos e negativos. Os principais problemas a serem solucionados (vide resposta da pergunta 2) são em relação a poeira, ruído e vibração, e para todos esses são feitos monitoramentos constantes; o monitoramento de poeira é feito semanalmente e o monitoramento de ruído e vibração é realizado quase sempre que há uma detonação.

A empresa busca fazer além da obrigação legal, pois compreende que se encontra em uma área urbana, além de possuir vizinhos próximos no condomínio industrial em que está localizada, sendo essa premissa, inclusive, uma das motivações da empresa para implementar práticas cada vez mais sustentáveis, visto que o objetivo é se manter nessa área por muito tempo (conforme resposta da pergunta 5).

Vale ressaltar que, atualmente, a empresa nota que a produção sustentável está caminhando em direção de melhores valores comerciais e que as opções mais modernas reduzem os custos operacionais (vide resposta da pergunta 6), o que é mais um grande incentivo para essa prática da sustentabilidade. No entanto, a atividade não está isenta de desafios, estando a empresa ciente de que é necessária a busca constante por conhecimento, novas tecnologias, *benchmarking*⁴ com outras empresas, comparecimento em feiras e exposições, para estar

⁴ Consiste na prática de avaliação comparativa com outras empresas do ramo; é um processo de comparação e análise das práticas, métodos e desempenho de uma organização em relação aos líderes do setor para identificar oportunidades de melhoria e atingir padrões superiores. Envolve diversas áreas, como processos, produtos e gestão.

sempre melhorando e evoluindo (conforme resposta da pergunta 5); além disso, é importante ter capital para o investimento inicial em tecnologias mais sustentáveis (que irão gerar lucro a médio e longo prazo). Entretanto, sabe-se que isso é algo que inicialmente requer muito planejamento e organização na gestão e no financeiro da empresa; são investimentos bastante altos, mas que a longo prazo fornecem resultados bastante promissores e positivos, inclusive da redução de custo por tonelada produzida (vide respostas das perguntas 5, 6, 7 e 8).

É interessante comentar que, hoje em dia, a empresa nota que o consumidor final (que geralmente é o mercado de varejo) ainda não tem a percepção de buscar fazer negócio valorizando a empresa que possui a melhor imagem e as melhores propostas ambientais e sociais. Para este tipo de consumidor, o que realmente importa ainda é o preço final, por isso é tão importante associar a sustentabilidade ao custo, para que isso fique cada vez mais alinhado com o que o cliente busca na hora de fazer suas escolhas comerciais. Por outro lado, percebe-se que o comprometimento com a sustentabilidade se destaca como uma vantagem e como diferencial positivo para a empresa, especialmente no contexto de grandes empresas e comerciantes maiores; esses clientes demonstram um real interesse nessas questões, e a negociação de preços está condicionada à apresentação, por parte da Petra Agregados, de documentação completa que comprove a sua conformidade com as normas ambientais e sociais. No geral, a percepção da empresa em relação ao mercado e ao que busca o consumidor final é positiva, pois acredita-se que, mesmo lentamente, o cenário está mudando para melhor (conforme resposta da pergunta 9).

Por fim, acerca das perspectivas da empresa (conforme respostas das perguntas 10 e 11), o estudo e a busca constante por evolução são pontos a se destacar. Há 25 anos no mercado, pode-se afirmar que a Petra Agregados é a maior pedreira da Zona da Mata Mineira e a unidade de Matias Barbosa é uma referência não só local, mas também nacional no processo produtivo de agregados para a construção civil.

A empresa é reconhecida em todo o Brasil, visto que seu processo de lavra foi muito bem desenvolvido, muito bem feito e foi todo planejado para ter custos constantes durante a vida da operação da planta, que é algo que se confirma até os dias de hoje, já que a empresa tem conseguido manter um patamar equilibrado de custos, mesmo com inflação, aumento de valores

de insumos e prestação de serviços e dos efeitos globais da pandemia de Covid-19¹ (conforme respostas das perguntas 7 e 11).

Percebe-se que a preocupação da empresa tem um viés holístico e ao mesmo tempo com cada parte do processo, por menor que seja, por isso seus resultados são tão positivos e expressivos. Vale destacar que, mesmo estando no topo do mercado, a busca por aperfeiçoamento é praticada todos os dias, sempre com humildade na aprendizagem, buscando inspirações em pedreiras e minerações que tenham práticas melhores que as da empresa e sempre estando de portas abertas para todos, sendo estes grandes diferenciais, visto que, atualmente, não são todas as empresas que se preocupam com tais questões (vide resposta da pergunta 11).

A sustentabilidade ainda é um tema bastante recente e que vem começando a ganhar mais visibilidade e a ser discutido de poucos anos para cá. E, alinhado a isso, o setor em questão é ainda muito primitivo e até poucos anos atrás, não se via muita evolução técnica significativa. No entanto, o cenário é promissor, afinal, atualmente as mudanças ocorrem com mais velocidade e muito mais tecnologia, podendo-se predizer que as transformações nos próximos 10 a 20 anos serão muito mais significativas do que as observadas no último período semelhante, e também com mais enfoque nas questões ambientais e sociais (conforme resposta da pergunta 11).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se neste estudo, que a atividade de mineração e a prática do desmonte de rochas são essenciais para o desenvolvimento da humanidade e para o crescimento econômico do país. No entanto, como toda atividade humana, durante todas as etapas de sua execução, são gerados impactos ambientais das mais diversas naturezas, tais como ruídos, vibrações excessivas, poluição atmosférica, ultralancamentos de fragmentos rochosos e isso coloca em risco não só o meio ambiente, mas também a população no entorno de um empreendimento desse tipo. E também, como é importante que a jazida de exploração esteja próxima do mercado consumidor para viabilizar a empreitada, faz-se cada vez mais necessário que a prática do desmonte de rochas seja realizada de forma mais sustentável. Aliado a isso, é importante destacar que os recursos naturais não acompanham o ritmo acelerado do crescimento populacional e consequente demanda por desenvolvimento.

É importante comentar que cada método e cada tipo de desmonte de rochas apresentado tem suas vantagens e desvantagens e que a escolha por um ou outro deve ser baseada na análise específica de cada situação, levando em consideração, principalmente, a finalidade da obra, os objetivos do projeto e as características do ambiente, do entorno, da comunidade local e da rocha a ser trabalhada (pois diferentes tipos de rochas requerem abordagens distintas).

Sabe-se que implementar práticas, profissionais e equipamentos visando a prática mais ecológica e socialmente responsável do desmonte de rochas pode ser algo que necessite de bastante planejamento financeiro de uma empresa, já que se tratam de investimentos, muitas vezes, de altíssimo custo. Entretanto, apesar das dificuldades encontradas no processo da busca por um desmonte de rocha mais sustentável, existem incentivadores da aplicação de práticas mais ecológicas nesta área de atuação, tal como a redução de preço do produto final a longo prazo, que é observada ao se implementarem técnicas, ideais, pessoal e equipamentos mais sustentáveis na cultura organizacional de uma empresa. Além disso, implementar medidas sustentáveis é muito importante para que uma empresa mantenha o bem-estar socioambiental no entorno de um empreendimento, buscando conciliar a necessidade de exploração dos materiais rochosos com a preservação dos recursos naturais e a satisfação das comunidades envolvidas.

As medidas que as empresas podem tomar para mitigar os impactos ambientais gerados pela atividade de desmonte de rochas consistem em ter bastante planejamento e monitoramento

socioambiental antes, durante e após a implantação do empreendimento. Direta e indiretamente, as empresas devem buscar utilizar tecnologias mais limpas e eficientes no processo de desmonte de rochas, como emprego de explosivos controlados que reduzam a emissão de gases poluentes e o uso de equipamentos modernos que minimizem o consumo de energia e água.

Percebe-se ainda que é fundamental envolver as comunidades locais no processo e é muito importante que exista um diálogo aberto e transparente entre empresa e população local. Além disso, a possibilidade da atividade de desmonte de rochas promover a geração de oportunidades de emprego e desenvolvimento local é um fator bastante interessante nessa relação entre empresa e sociedade, garantindo o desenvolvimento social e econômico de forma responsável.

Pensando além, no viés da educação e da capacitação, percebe-se a importância de se investir no aumento da conscientização sobre a importância da sustentabilidade no desmonte de rochas. Para tal, a aliança governo-empresarial é de extrema importância, pois as duas esferas trabalhando juntas podem alcançar melhores resultados; promover uma cultura de responsabilidade ambiental e social em escolas e comunidades, além de investir em programas de educação ambiental e capacitação para funcionários e partes interessadas, é fundamental para atingir a mudança de pensamentos necessária.

Por fim, pode-se dizer que ainda há muito a ser estudado e publicado sobre a importância da sustentabilidade no desmonte de rochas e, por isso, incentiva-se pesquisas futuras que versem sobre este tema. Por se tratar de um assunto de extrema relevância atual, visto as crises ambientais e eventos extremos cada vez mais frequentes, também se faz necessário que o governo lance políticas públicas, campanhas de conscientização para todas as faixas etárias e medidas de inclusão da sociedade em práticas sustentáveis no geral e com destaque para os procedimentos de desmonte de rochas, para que a transformação de ideais possa ocorrer desde a base da população, até a parcela mais experiente. E, mais importante do que aplicar medidas corretivas para tentar reverter situações que já ocorreram, o foco político e organizacional de empresas da área deve ser de implementação de práticas preventivas, além de promover campanhas que incentivem este viés.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15012:2013:** Rochas para revestimentos de edificações — Terminologia. 2 ed. Rio de Janeiro: [S.N.], 2013. 23 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9653:2018:** Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. 3 ed. Rio de Janeiro: [S.N.], 2018. 16 p.
- BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Projeto Editorial, 2002. 305 p.
- BRASIL. SGB-CPRM. **Rochas**. 2015. Elaborado por Pércio de Moraes Branco. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Rochas-1107.html>. Acesso em: 15 out. 2023.
- CHIOSSI, Nivaldo José. **Geologia de Engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 424 p.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1997. **Resolução nº 237, 19 de Dezembro de 1997**. Ministério do Meio Ambiente.
- FREITAS, Hydenawer Marcos. **Estudo de índices e procedimentos que influenciam na qualidade final do polimento de rochas ornamentais**. 2022. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2022. Disponível em: <https://drive.google.com/drive/folders/1J87aDXHZXX2jh4r7FZIGtCiodlO0hXAJ>. Acesso em: 20 maio 2023.
- GERALDI, José Lúcio Pinheiro. **O ABC das Escavações de Rocha**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. 284 p.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019. 230 p.
- IBRAM. **Mineração em Números: 1º semestre 2023**. 1º semestre 2023. 2023. Infográfico. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/?txtSearch=&checkbox-section%5B%5D=1236>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- LA SERNA, Humberto Almeida de; REZENDE, Márcio Marques. **Agregados para a Construção Civil**. 2013. Publicação na Série Estatísticas e Economia Mineral da Agência Nacional de Mineração. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>. Acesso em: 13 set. 2023.
- LASSU (LABORATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE) (São Paulo). **Conceituação:** mas afinal, o que é sustentabilidade?. Departamento de Engenharia da Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.lassu.usp.br/sustentabilidade/conceituacao/?doing_wp_cron=1703182343.3395299911499023437500. Acesso em: 01 dez. 2023.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 30 jun. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **População mundial atinge 8 bilhões de pessoas**. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>. Acesso em: 17 dez. 2022.

PETRA AGREGADOS. **Sustentabilidade**. Disponível em: <https://www.petraagregados.com/sustentabilidade/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PONTES, J. C.; SILVA, V. P.; NASCIMENTO, P. H. M.; SOUSA, H. M.; ARAUJO, M. M.; VICTOR, A. J. **Utilização da estratégia de produção mais limpa para minimizar os impactos ambientais decorrentes do desmonte de rochas ornamentais**. In: XII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 2015, Poços de Caldas. Anais [...]. Poços de Caldas: [s. n.], 2015. v. 7. [8 p].

PONTES, Julio Cesar de; LIRA, Waleska Silveira; LIMA, Vera Lúcia Antunes de. **Aplicação de técnicas de produção mais limpa no desmonte de rocha e sua contribuição para a saúde do trabalhador**. SciELO Books, Campina Grande: EDUEPB, 2013, pp. 233-250. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira9788578792824-10.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2022.

SILVA, V. P. **Economia circular: Um novo valor para negócios sustentáveis**. RAE-Revista de Administração de Empresas, [s. l.], v. 59, n. 3, p. 222, 2019a. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rae/article/view/79720>. Acesso em: 18 dez. 2022.

SILVA, Valdir Costa e. **Desmonte de Rochas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019b. 334 p.

TALK - **Desmontes de Rochas seguros, econômicos e com menor impacto ambiental**. Realização de Valdir Costa e Silva. [S.I]: Oficina de Textos, 2020. (70 min.), son., color. Disponível em: <https://vimeo.com/642746475/483c0bf1b8>. Acesso em: 03 maio 2023.

WWF-BRASIL. **Sustentabilidade: da teoria à prática**. da teoria à prática. Disponível em: https://www.wwf.org.br/participe/porque_participar/sustentabilidade/. Acesso em: 01 nov. 2023.

ANEXO A – Entrevista na íntegra realizada com a empresa Petra Agregados

Documento: Transcrição de Entrevista

Tempo de gravação do áudio: 18 minutos e 16 segundos

Local e data: Petra Agregados – Unidade Matias Barbosa em 16 de junho de 2023

1 - Como pode ser visto no site da empresa, a Petra Agregados possui planos que visam a mitigação dos impactos ambientais gerados pela atividade de desmonte de rochas, bem como a sustentabilidade do empreendimento. Vocês podem descrever e explicar melhor cada um deles e seus processos?

[Entrevistado 1] Todo o processo de detonação aqui na pedreira foi modificado nos últimos anos. Na verdade, a indústria das detonações tem sido modificada para gerar menos impacto para as vizinhanças em si. Hoje em dia fazemos por aqui a utilização de um “brinel não elétrico”, que permite coordenar o tempo de detonação; isso é interessante porque nessa atividade, o grande problema que poderia ser gerado é a detonação simultânea de várias minas, que causaria uma vibração muito grande no solo e uma velocidade muito grande de deslocamento. Por isso o objetivo atual é dividir os tempos de detonação em milissegundos, o que nem é naturalmente perceptível visual ou auditivamente. Isso já é uma política que as pedreiras, principalmente situadas em áreas urbanas, já estão utilizando; além disso, há uma nova tecnologia, que é ainda melhor, chamada “espoleta eletrônica”, que ainda não é utilizada por aqui, mas é capaz de sensibilizar ainda mais esse tempo, dividi-lo ainda mais, e assim gerar menos impacto e também uma melhor fragmentação do material detonado. Durante a detonação, o que fazemos é medir com um sismógrafo; nós temos um plano de sismografia, em que são feitas medições em pontos específicos do entorno, além das normas que temos que seguir: ABNT NBR 9653:2018 e Norma Reguladora de Mineração NRM-16 – Operações com explosivos e acessórios. Além disso, há o pós-detonação, porque nem toda detonação é 100% perfeita em termos de fragmentação para ser possível continuar a produção; nesses casos é necessário continuar diminuindo o material antes deste ir para a britagem. Há alguns anos atrás, essa tarefa era realizada por um funcionário, que tinha uma ferramenta e ia furando pedra por pedra, depois precisava carregar com dinamite cada uma delas, amarrar uma pedra na outra e só então fazer a detonação de tudo junto, o que é chamado de fogo secundário. Hoje em dia não existe mais isso nas pedreiras mais modernas; atualmente temos um equipamento chamado

“rompedor hidráulico”, que é acoplado em uma escavadeira e o operador faz a quebra deste material sentado em uma cabine confortável e climatizada...É o rompedor que faz todo o trabalho, o operador só comanda a máquina, é bem mais rápido do que antigamente.

2 - Existem estudos de impacto ambiental que são realizados aqui? Se sim, quais?

[Entrevistado 2] No pré-licenciamento já são feitos todos os estudos de que impactos podem ser gerados, positivos e negativos. Os principais são com poeira, ruído e vibração, e para todos esses são feitos monitoramentos constantes. O monitoramento de poeira é feito semanalmente e o monitoramento de ruído e vibração é realizado quase sempre que há uma detonação; existe uma obrigação legal de se fazer ao menos um monitoramento desse ao ano, mas aqui a gente faz muito mais do que isso, é praticamente um por mês, para termos um histórico do impacto que está sendo gerado por aqui. E para o monitoramento de poeira também, nós desenvolvemos um sistema que não é algo que é obrigatório na nossa licença, mas que a gente acha importante, porque estamos em uma área urbana... Então aqui no Park Sul, como é um “condomínio industrial”, nós temos vizinhos, muito próximos, e estamos gerando esse impacto para eles, então é feito esse monitoramento, justamente para avaliar qual é o impacto que estamos gerando na vida das pessoas que estão trabalhando aqui ao nosso redor.

[Entrevistadora] Interessante! Eu enxergo isso como um diferencial, porque não é feita só a obrigação, a empresa vai além.

[Entrevistado 1] Hoje é muito difícil uma pedreira sobreviver sem se preocupar com a vizinhança e com essas questões, é praticamente impossível.

3 - Quais profissionais são responsáveis por entender e propor soluções para os impactos ambientais gerados por essa atividade?

[Entrevistado 1] O corpo técnico aqui hoje é formado por uma engenheira sanitarista e ambiental, um engenheiro civil, tem o responsável técnico pela pedreira que é engenheiro de minas e têm alguns técnicos que trabalham na área operacional, como um funcionário nosso que é técnico de mineração e técnico de edificação, e aqui ele é quem fica responsável pela detonação, além de outras pessoas da parte técnica que comandam a manutenção (como engenheiro eletricitista, engenheiro de produção). Mas voltado para esse foco do desmonte de rochas, é o engenheiro civil, a engenheira sanitarista e ambiental e o responsável técnico (que é engenheiro de minas).

[Entrevistado 2] E uma coisa que eu acho importante ressaltar é que aqui na Petra, a gente desenvolve uma cultura em que todo mundo se preocupa com essa área ambiental. Então às vezes, até o menor operador já tem uma preocupação com resíduo, com poeira ou com alguma outra coisa, e ele mesmo chama nossa atenção sobre algo que está acontecendo aqui. A preocupação é de todo mundo que está envolvido no processo.

[Entrevistadora] E isso é muito válido, porque é quem está no dia a dia que nota mais detalhes que poderiam passar despercebidos. E são os operários que, de fato, estão em contato com o que acontece em campo, então é uma percepção mais de perto de tudo que está acontecendo, do que pode ser melhorado, então é realmente muito bacana existir esse diálogo.

4 - Qual fase do desmonte de rochas e da produção da empresa gera mais impactos ambientais?

[Entrevistado 1] Na verdade, aqui o impacto é gerado em todo o processo. Nossa função é, portanto, otimizar ao máximo os nossos processos e fazer a mitigação do máximo possível de impactos. E isso vale desde a etapa de perfuração da rocha; hoje nós temos uma máquina super moderna que não gera poeira para o operador. Na etapa de rebitagem, estamos trocando todas as telas para telas de borracha (que além de impedirem que a poeira escape com facilidade por alguns pontos, também fazem diminuir o ruído da produção). Fora isso, tem o caminhão pipa que fica trabalhando o dia todo aqui no Park Sul e dentro da pedreira para reduzir a poeira; tem a aspersão da planta que é toda feita à água; nosso processo de reutilização de água aqui é altamente sustentável, porque fazemos captação de água da chuva durante o ano todo.... Então a gente tem criado algumas estratégias para poder diminuir esses impactos.

[Entrevistado 2] Apenas complementando, eu acredito que a principal fase do processo de desmonte de rochas que gera mais impactos seria a rebitagem.

[Entrevistado 1] Exatamente, e é na rebitagem que aplicamos as estratégias da umidificação e das telas de borracha, por exemplo. Nas etapas de perfuração e de carga e transporte, que são duas operações na lavra, normalmente é utilizado o caminhão pipa para fazer o abatimento do pó. E, por fim, na perfuratriz, nós temos atualmente uma máquina que capta o pó e deposita próximo a ela, não deixando ir para a atmosfera, como ocorria antigamente.

5 - Qual foi a principal motivação da empresa para implementar um desmonte de rochas mais sustentável? E quais os maiores desafios dessa prática?

[Entrevistado 1] A motivação é que a gente está em uma área urbana e industrial, então não tem como não ser uma mina sustentável; o nosso objetivo é ficar mais de 100 anos aqui, não é ficar por 5, 6 ou 10 anos apenas... Hoje nós já estamos com 25 anos e, dentro do possível, muito bem relacionados com o entorno, com praticamente nenhuma reclamação. E hoje a produção sustentável, apesar de muita gente pensar que não, está indo em direção a custos melhores também! Hoje as opções mais modernas estão vindo para reduzir custos operacionais, então não tem porquê não ser sustentável hoje em dia!

[Entrevistado 2] Em relação aos desafios desta prática, sabemos que a busca por novas tecnologias precisa ser constante; nós precisamos estar sempre indo atrás de *benchmarking* com outras empresas, feiras, exposições, buscando conhecimento para não ficar para trás. E, principalmente, ter capital para o investimento inicial em tecnologias mais sustentáveis. Muitas vezes nós sabemos que, além dos benefícios em geral, haverá uma redução de custos no longo prazo, mas o investimento inicial muitas vezes é um desafio para a saúde financeira da empresa. Por isso, requer muito planejamento e organização na gestão da empresa.

6 - Foi necessário muito investimento da empresa para aplicar na prática os ideais de sustentabilidade?

[Entrevistado 1] Foi! Hoje a máquina de perfuração que a gente trocou ano passado [2022] foi quase 1 milhão de reais; essa máquina que faz a perfuração de fogo secundário (em que o operador fica de dentro dela rompendo o fogo), hoje custa em média de 2 milhões e 200 mil reais; um jogo de tela de borracha para cobrir todas as peneiras é algo em torno de 100 mil reais.... Então são investimentos pesados, mas que a longo prazo dão um resultado absurdo. Inclusive de custo por tonelada produzida, então além da sustentabilidade, existe uma redução desse custo.

7 - Qual foi o impacto da implementação de práticas mais sustentáveis no custo do metro cúbico desmontado (se ficou mais caro, se gerou lucro, etc.)?

[Entrevistado 1] Não é possível falar exatamente qual foi o impacto, mas a empresa segue em uma linha estável. Apesar do Brasil já ter a linha tendenciosa da inflação e de que nos últimos 2 anos e meio houve o aspecto pontual da pandemia (com aceleração absurda de custos), a Petra Agregados consegue se manter em um custo aceitável, mesmo com os aumentos de [preços de] insumos, de [preços de] prestação de serviços. Mesmo com todas essas questões, a empresa tem conseguido manter um patamar, já de alguns anos, equilibrado de custo.

8 - Em termos financeiros, o desmonte de rochas mais sustentável é também mais caro?

[Entrevistado 2] Na nossa percepção, não. Como já falamos anteriormente, muitas mudanças foram realizadas na nossa operação visando reduzir impactos, aumentar a segurança e, também, reduzir custos e despesas. No fim das contas, vemos que tomar medidas sustentáveis nos trouxeram mais benefícios do que prejuízos financeiros.

9 - Em relação ao mercado, é notado que o foco na sustentabilidade se torna um diferencial positivo para a empresa? Como, por exemplo, melhorar a imagem da empresa perante a sociedade?

[Entrevistado 1] Hoje em dia o brasileiro ainda é um povo que não vê muita diferença nisso... Então nós praticamos a sustentabilidade porque a gente quer realmente fazer, nós não estamos fazendo isso pensando no consumidor final, porque hoje ele ainda não tem essa preocupação... A preocupação dele, hoje, ainda é preço; não só no mercado de agregados, para grande parte do consumidor, o diferencial é o valor... Por isso que a gente tem que associar a sustentabilidade ao custo, para que seja possível alcançar um preço mais competitivo para o mercado. Mas falar que o cliente escolhe uma pedreira só por causa da imagem, nem 5% dos clientes faz isso, na minha percepção.

[Entrevistado 2] Eu acredito que só empresas maiores, que precisam de um critério mais forte, se importam com essas questões. Dá para perceber isso porque antes de fazer a negociação comercial, esses clientes pedem a nossa documentação, querem que a gente esteja com tudo em conformidade com as questões ambientais e sociais, para só depois negociarem preço.

[Entrevistado 1] Realmente, isso vale quando estamos falando de grandes construtoras, grandes empresas. Mas o mercado de varejo, que é o cliente que vai comprar nosso produto final na loja de material de construção, alguém que vai fazer uma pequena reforma, ele ainda não tem essa percepção; mas *[o cenário]* está mudando!

10 - Qual a perspectiva futura da empresa e planos a longo prazo em relação à importância da implementação da temática da sustentabilidade no desmonte de rochas? Além daquelas já apresentadas, existem novas propostas da empresa para continuar a realizar uma produção mais limpa?

[Entrevistado 1] A perspectiva da empresa é continuar estudando. A gente tem uma equipe que está sempre participando de feiras, exposições.... Nós somos a referência no processo produtivo de brita. Essa planta aqui de Juiz de Fora [Unidade Matias Barbosa - MG] é uma referência nacional.... Nós somos uma empresa comentada quase que no Brasil inteiro, porque o nosso processo de lavra foi muito bem desenvolvido, muito bem feito e foi todo planejado para ter custos constantes durante a vida da operação da planta.

[Entrevistadora] Meu orientador do TCC e eu conversamos sobre a Petra ser uma empresa de muita relevância, não só local... Por isso que eu fiquei tão feliz e grata por essa contribuição, porque isso vai agregar muito no meu trabalho.

[Entrevistado 1] Então a gente continua estudando, participando de feiras... Há também algumas implementações que gostaríamos de fazer, como por exemplo, na detonação, que é o seu caso específico, existe o advento da “espoleta eletrônica” (conforme comentado no início da entrevista); a questão é que, no momento, com o valor que o nosso produto é vendido para o mercado, não é possível aumentar muito o custo da nossa operação, e este produto ainda é muito caro para poder fazer seu uso em pedreiras. Claro que já existem algumas pedreiras que fazem isso, nós estamos estudando as possibilidades, tentando negociar uma forma melhor com o fornecedor e, aos poucos, a gente vai caminhar. Seria o próximo passo de evolução da sustentabilidade na detonação.

11 - Há mais alguma coisa que vocês queiram mostrar e/ou comentar que não foi abordado nesta entrevista e que possa colaborar com meu TCC?

[Entrevistado 1] É interessante comentar que estamos há 25 anos no mercado, que atualmente somos a maior pedreira da Zona da Mata Mineira, que a Petra Agregados é uma referência nacional e que estamos sempre preocupados com o todo... Não é toda pedreira que tem uma engenheira sanitária responsável pela parte de meio ambiente; aqui a gente sempre prezou por ter alguém com essa qualificação. Paralelamente a isso, temos uma planta no Rio de Janeiro [Unidade Queimados - RJ], que é a maior planta do estado; por lá chegamos a produzir em torno de 300 mil toneladas em um só mês. Além disso, gostaria de ressaltar que estamos sempre abertos, sempre prontos para poder atender os alunos da universidade, somos uma empresa de portas abertas...

[Entrevistadora] É o que faz total diferença! A disponibilidade, a atenção, o fato de vocês serem muito solícitos e dispostos a agregar é um grande diferencial para a empresa.

[Entrevistado 1] Sempre quando alguém quiser fazer uma visita a Petra estará de portas abertas; além disso, nós temos um laboratório que também fica disponível para qualquer aluno que quiser utilizar com nossos produtos e nosso acompanhamento... É sobre estar no topo do mercado, mas buscando se aperfeiçoar, sempre com humildade na aprendizagem, buscando inspirações em pedreiras e minerações que tenham práticas melhores que a nossas, é sempre procurar melhorar. Essa busca pela sustentabilidade e pela melhoria constante é eterna.

[Entrevistadora] E o grande foco do meu trabalho é mostrar o diferencial da empresa, porque não são todas que atualmente se preocupam com tais questões... E infelizmente a sustentabilidade ainda é um tema que está começando a ganhar mais visibilidade (pensando em grande escala), de poucos anos para cá que isso vem sendo mais falado. Por exemplo, as fontes da minha revisão bibliográfica que falam desse tema têm no máximo 10 anos.... É um tema muito novo, tem muita carência de literatura técnica na área, então meu estudo é também para contribuir com isso!

[Entrevistado 1] É um setor ainda muito primitivo. Até poucos anos atrás, não se via muita evolução tecnológica no setor.... Então é possível perceber que as coisas vão acontecendo, vão evoluindo, mas estamos falando de 20 anos e de uma evolução que ocorreu aos poucos; eu acredito que nos próximos 10 ou 20 anos as coisas vão ser mais rápidas.

[Entrevistadora] E mesmo assim, ao pensar no mundo todo, de 20 anos para cá houveram diversas mudanças muito significativas e com grandes impactos, então é de se esperar que no futuro próximo iremos alcançar novos patamares com as questões de sustentabilidade e também de tecnologia.

[Entrevistado 1] As empresas sérias hoje em dia estão pensando no funcionário, na qualidade de vida dele. A gente tem que contratar o funcionário bem e tem que devolver ele bem na aposentadoria também! As empresas sérias têm que pensar nisso e eu acho que a gente está no caminho!

OBS.: Existe alguma informação dentro do que foi conversado que vocês gostariam que não fosse publicada? RESPOSTA: Não.

() Sim (x) Não

Entrevistadora:

- Vivian Toledo Lippi (*Estudante de Engenharia Civil da UFJF*)