

TÉCNICO EM MINERAÇÃO



MÓDULO III
MECÂNICA E DESMONTE DE ROCHAS



2025 - INEPROTEC

Diretor Pedagógico	EDILVO DE SOUSA SANTOS
Diagramação	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Capa	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Elaboração	INEPROTEC

Direitos Autorais: É proibida a reprodução parcial ou total desta publicação, por qualquer forma ou meio, sem a prévia autorização do INEPROTEC, com exceção do teor das questões de concursos públicos que, por serem atos oficiais, não são protegidas como Direitos Autorais, na forma do Artigo 8º, IV, da Lei 9.610/1998. Referida vedação se estende às características gráficas da obra e sua editoração. A punição para a violação dos Direitos Autorais é crime previsto no Artigo 184 do Código Penal e as sanções civis às violações dos Direitos Autorais estão previstas nos Artigos 101 a 110 da Lei 9.610/1998.

Atualizações: A presente obra pode apresentar atualizações futuras. Esforçamo-nos ao máximo para entregar ao leitor uma obra com a melhor qualidade possível e sem erros técnicos ou de conteúdo. No entanto, nem sempre isso ocorre, seja por motivo de alteração de software, interpretação ou falhas de diagramação e revisão. Sendo assim, disponibilizamos em nosso site a seção mencionada (Atualizações), na qual relataremos, com a devida correção, os erros encontrados na obra e sua versão disponível. Solicitamos, outros sim, que o leitor faça a gentileza de colaborar com a perfeição da obra, comunicando eventual erro encontrado por meio de mensagem para contato@ineprotec.com.br.

VERSÃO 2.0 (01.2025)

Todos os direitos reservados à
Ineprotec - Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico Eireli
Quadra 101, Conjunto: 02, Lote: 01 - Sobreloja
Recanto das Emas - CEP: 72.600-102 - Brasília/DF
E-mail: contato@ineprotec.com.br
www.ineprotec.com.br

Sumário

ABERTURA

SOBRE A INSTITUIÇÃO

- Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente
- Missão
- Visão
- Valores

SOBRE O CURSO

- Perfil profissional de conclusão e suas habilidades
- Quesitos fundamentais para atuação
- Campo de atuação
- Sugestões para Especialização Técnica
- Sugestões para Cursos de Graduação

SOBRE O MATERIAL

- Divisão do Conteúdo
- Boxes

BASE TEÓRICA

INTRODUÇÃO

PRINCIPAIS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ROCHAS

- Dureza
- Resistência à compressão simples
- Porosidade e permeabilidade
- Tenacidade
- Estrutura e descontinuidades
- Densidade

PERFURAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS E EQUIPAMENTOS DE PERFURAÇÃO

- Tipos de perfuração
 - Quanto à orientação
- Métodos de perfuração
 - Perfuração rotativa
 - Perfuração percussiva
 - Perfuração rotopercussiva
- Equipamentos de perfuração
 - Martelos pneumáticos manuais
 - Perfuratrizes sobre trilhos ou sobre rodas
 - Jumbos de perfuração

- Martelos de fundo (DTH)

PROPRIEDADES, CLASSIFICAÇÃO E TIPOS DE EXPLOSIVOS

- Propriedades dos explosivos
 - Velocidade de detonação
 - Energia específica
 - Sensibilidade
 - Estabilidade química
- Classificação dos explosivos
 - Quanto ao tipo de reação
 - Quanto à finalidade
 - Quanto à sensibilidade
- Tipos de explosivos mais utilizados na mineração
 - ANFO (Nitrato de amônio + óleo combustível)
 - Emulsões explosivas
 - Dinamites gelatinosas
 - Slurries

DESMONTE DE ROCHAS COM EXPLOSIVOS: TEORIAS, ACESSÓRIOS E PLANO DE FOGO A CÉU ABERTO

- Teorias de fragmentação de rochas com explosivos
 - Teoria da energia radial
 - Teoria da trinca em cunha
 - Teoria do volume de gases
- Acessórios de detonação
 - Espoletas (iniciadores)
 - Cordel detonante
 - Reforçadores
 - Retardos
 - Plano de fogo a céu aberto
 - Diâmetro dos furos
 - Profundidade e subperfuração
 - Afastamento e espaçamento
 - Altura da bancada
 - Sequência e tempo de detonação

DESMONTES MECÂNICO E HIDRÁULICO

- Desmorte mecânico
 - Métodos mais comuns
 - Desmorte hidráulico
 - Aplicações

NORMAS DE SEGURANÇA PARA MANUSEIO, TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE EXPLOSIVOS

- Normas legais e regulatórias
- Armazenamento de explosivos
- Transporte de explosivos

- Manuseio em campo

AR COMPRIMIDO

- Princípios e funcionamento
- Aplicações na mineração
- Cuidados operacionais

SESSÕES ESPECIAIS

MAPA DE ESTUDO

SÍNTESE DIRETA

MOMENTO QUIZ

GABARITO DO QUIZ

REFERÊNCIAS

Módulo III

MECÂNICA E DESMONTE DE ROCHAS

Abertura

SOBRE A INSTITUIÇÃO

Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente

O Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico (INEPROTEC) é uma instituição de ensino que valoriza o poder da educação e seu potencial de transformação.

Nascemos da missão de levar educação de qualidade para realmente impactar a vida dos nossos alunos. Acreditamos muito que a educação é a chave para a mudança.

Nosso propósito parte do princípio de que a educação transforma vidas. Por isso, nossa base é a inovação que, aliada à educação, resulta na formação de alunos de grande expressividade e impacto para a sociedade. Aqui no INEPROTEC, o casamento entre tecnologia, didática e interatividade é realmente levado a sério e todos os dias otimizado para constante e contínua evolução.

Missão

A nossa missão é ser símbolo de qualidade, ser referência na área educacional presencial e a distância, oferecendo e proporcionando o acesso e permanência a cursos técnicos, desenvolvendo e potencializando o talento dos estudantes, tornando-os, assim, profissionais de sucesso e cidadãos responsáveis e capazes de atuar como agentes de mudança na sociedade.

Visão

O INEPROTEC visa ser um instituto de ensino profissionalizante e técnico com reconhecimento nacional, comprometido com a qualidade e excelência de seus cursos, traçando pontes para oportunidades de sucesso, tornando-se, assim, objeto de desejo para os estudantes.

Valores

Ciente das qualificações exigidas pelo mercado de trabalho, o INEPROTEC tem uma visão que prioriza a valorização de cursos essenciais e pouco ofertados para profissionais que buscam sempre a atualização e especialização em sua área de atuação.

SOBRE O CURSO

O curso TÉCNICO EM MINERAÇÃO pertence ao Eixo Tecnológico de RECURSOS NATURAIS.

Vejamos algumas informações importantes sobre o curso TÉCNICO EM MINERAÇÃO relacionadas ao **perfil profissional de conclusão e suas habilidades**, **quesitos fundamentais para atuação**, **campo de atuação** e, também, algumas sugestões interessantes para continuação dos estudos optando por **Especializações Técnicas** e/ou **Cursos de Graduação**.

Perfil profissional de conclusão e suas habilidades

- Realizar atividades de prospecção, avaliação técnica e econômica, planejamento, extração e produção referentes aos recursos naturais.
- Prestar assistência técnica e assessoria ao estudo e ao desenvolvimento de projetos e pesquisas tecnológicas, ou aos trabalhos de vistoria, perícia, arbitramento e consultoria.
- Elaborar orçamentos, laudos, pareceres, relatórios e projetos, inclusive de incorporação de novas tecnologias.
- Realizar levantamento topográfico, sensoriamento remoto e geoprocessamento, conforme sua formação profissional.
- Auxiliar na caracterização de minérios sob os aspectos físico-químico, mineralógico e granulométrico.
- Executar projetos de desmonte, transporte e carregamento de minérios.
- Monitorar a estabilidade de rochas em minas subterrâneas e a céu aberto.
- Auxiliar no mapeamento geológico e amostragem em superfície e subsolo.
- Supervisionar, coordenar e operar equipamentos de fragmentação, de separação mineral, separação sólido/líquido, hidrometalúrgicos e de secagem.
- Supervisionar, coordenar e operar equipamentos de extração mineral, sondagem, perfuração, amostragem e transporte.
- Orientar e coordenar a execução de serviços de manutenção de equipamentos.
- Prestar assistência técnica na compra, venda e utilização de equipamentos especializados.

Quesitos fundamentais para atuação

- Conhecimentos e saberes relacionados aos recursos minerais e à proteção ambiental.
- Atualização em relação às inovações tecnológicas.
- Cooperação de forma construtiva e colaborativa nos trabalhos em equipe e tomada de decisões.
- Adoção de senso investigativo, visão sistêmica das atividades e processos, capacidade de comunicação e argumentação, autonomia, proatividade, liderança, respeito às diversidades nos grupos de trabalho, resiliência frente aos problemas, organização, responsabilidade, visão crítica, humanística, ética e consciência em relação ao impacto de sua atuação profissional na sociedade e no ambiente.

Campo de atuação

- Empresas públicas e privadas que atuam no desenvolvimento de soluções tecnológicas para exploração de recursos minerais.
- Instituições de assistência técnica, pesquisa, análise e experimentação.
- Empresas de consultoria.
- Empresas de mineração e de petróleo.
- Empresas de equipamentos de mineração.
- Centros de pesquisa em mineração.

Sugestões para Especialização Técnica

- Especialização Técnica em Mineralogia e Petrografia.
- Especialização Técnica em Caracterização Mineralógica.
- Especialização Técnica em Beneficiamento de Rochas Ornamentais.
- Especialização Técnica em Gestão Operacional de Produção com Enfoque na Mineração.
- Especialização Técnica em Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais.
- Especialização Técnica em Pesquisa Mineral.
- Especialização Técnica em Topografia de Mineração.
- Especialização Técnica em Tratamento de Minérios.

Sugestões para Cursos de Graduação

- Curso Superior de Tecnologia em Agrimensura.
- Curso Superior de Tecnologia em Estradas.
- Curso Superior de Tecnologia em Beneficiamento de Minérios.
- Curso Superior de Tecnologia em Exploração de Recursos Minerais.
- Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.
- Curso Superior de Tecnologia em Mineração.
- Curso Superior de Tecnologia em Petróleo e Gás.
- Curso Superior de Tecnologia em Produção Joalheira.
- Curso Superior de Tecnologia em Rochas Ornamentais.
- Bacharelado em Agrimensura.
- Bacharelado em Engenharia de Minas.
- Bacharelado em Engenharia Geológica.
- Bacharelado em Geologia.
- Licenciatura em Química.

SOBRE O MATERIAL

Os nossos materiais de estudos são elaborados pensando no perfil de nossos cursistas, contendo uma estruturação simples e clara, possibilitando uma leitura dinâmica e com volume de informações e conteúdos considerados básicos, mas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de cada disciplina. Lembrando que nossas apostilas não são os únicos meios de estudo.

Elas, juntamente com as videoaulas e outras mídias complementares, compõem os vários recursos midiáticos que são disponibilizados por nossa Instituição, afim de proporcionar subsídios suficientes a todos, no processo de ensino-aprendizagem durante o curso.

Divisão do Conteúdo

Este material está estruturado em três partes:

- 1) ABERTURA.

- 2) BASE TEÓRICA.
- 3) SESSÕES ESPECIAIS.

Parte 1 - ABERTURA

- Sobre a Instituição.
- Sobre o Curso.
- Sobre o Material.

Parte 2 – BASE TEÓRICA

- Conceitos.
- Observações.
- Exemplos.

Parte 3 – SESSÕES ESPECIAIS

- Mapa de Estudo.
- Síntese Direta.
- Momento Quiz.

Boxes

Além dessas três partes, no desenvolvimento da BASE TEÓRICA temos alguns BOXES interessantes, com intuito de tornar a leitura mais agradável, mesclando um estudo mais profundo e teórico com pausas pontuais atrativas, deixando a leitura do todo “mais leve” e interativa.

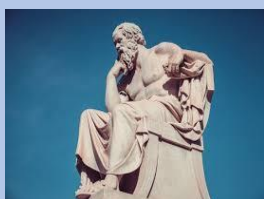
Os BOXES são:

- **VOCÊ SABIA?**



São informações complementares contextualizadas com a base teórica, contendo curiosidades que despertam a imaginação e incentivam a pesquisa.

- **PAUSA PARA REFLETIR...**



Um momento especial para descansar a mente do estudo teórico, conduzindo o cursista a levar seus pensamentos para uma frase, mensagem ou indagação subjetiva que leve a uma reflexão pessoal e motivacional para o seu cotidiano.

- **SE LIGA NA CHARADA!**



Se trata de um momento descontraído da leitura, com a apresentação de enigmas e indagações divertidas que favorecem não só a interação, mas também o pensamento e raciocínio lógico, podendo ser visto como um desafio para o leitor.

Base Teórica

INTRODUÇÃO

A mecânica e o desmonte de rochas representam etapas críticas nos processos de lavra e infraestrutura em mineração. Entender como os maciços rochosos se comportam sob diferentes formas de sollicitação — seja por perfuração, detonação, impacto ou pressão — permite que o desmonte seja feito com eficiência, segurança e menor impacto ambiental. Essa área da mineração envolve conhecimentos interdisciplinares, unindo geologia, engenharia de minas e tecnologia de explosivos, com foco em fragmentar a rocha no formato e tamanho ideais para posterior transporte e beneficiamento. Cada tipo de rocha responde de maneira diferente às ações mecânicas e explosivas, o que exige a aplicação de conceitos técnicos e métodos específicos de acordo com as características do terreno.

PRINCIPAIS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ROCHAS

O sucesso das operações de perfuração e desmonte de maciços rochosos depende diretamente do conhecimento técnico sobre as propriedades físicas das rochas. Essas propriedades determinam o comportamento da rocha frente à ação de ferramentas mecânicas, impacto de explosivos e propagação de fraturas. Compreendê-las é essencial para selecionar os equipamentos adequados, estimar o consumo de insumos e planejar operações seguras e eficazes.

Dureza

A dureza é a capacidade que uma rocha tem de resistir ao desgaste ou ao risco. Essa propriedade é especialmente relevante na escolha do tipo de perfuratriz e no dimensionamento das ferramentas de corte. Rochas muito duras provocam maior desgaste dos bits de perfuração e exigem equipamentos com maior potência. A Escala de Mohs é frequentemente utilizada como referência, classificando os minerais de 1 (mais macio, como o talco) até 10 (mais duro, como o diamante).

Resistência à compressão simples

A resistência à compressão simples indica a carga máxima que uma amostra cilíndrica de rocha pode suportar sem se romper quando comprimida longitudinalmente. Essa resistência, medida em megapascal (MPa), é determinante para estimar o esforço necessário na perfuração e a quantidade de explosivo para fragmentar o material. Rochas como o granito podem apresentar resistência superior a 100 MPa, enquanto sedimentos consolidados como o arenito têm valores bem menores.

Porosidade e permeabilidade

A porosidade corresponde à proporção de espaços vazios existentes em uma rocha, enquanto a permeabilidade refere-se à capacidade desses vazios se conectarem, permitindo a passagem de fluidos. Essas características afetam diretamente a eficiência do desmonte, pois parte da energia do explosivo pode ser dissipada ao penetrar nos poros. Em rochas mais porosas, é comum a necessidade de ajustes no tipo ou na quantidade de explosivo para compensar essa perda.

Tenacidade

Tenacidade é a resistência da rocha à propagação de fraturas após o início da ruptura. Rochas tenazes absorvem grande parte da energia aplicada antes de se fragmentarem, o que exige maior esforço mecânico ou uso de explosivos mais potentes. Ao contrário, rochas menos tenazes tendem a se romper com facilidade, o que pode gerar fragmentação excessiva se não for considerado no planejamento.

Estrutura e descontinuidades

A estrutura interna da rocha, como a presença de fraturas naturais, falhas, juntas e planos de acamamento, influencia o caminho que as ondas de choque e as fraturas induzidas irão seguir. Descontinuidades orientadas favoravelmente em relação à frente de lavra facilitam o desmonte e reduzem o consumo de explosivo. Já aquelas em orientação desfavorável podem causar bloqueios, quedas imprevistas de blocos e acidentes.

Densidade

A densidade das rochas, medida em kg/m^3 , está relacionada à sua composição mineral e à compactação. Rochas mais densas exigem maior energia para serem fragmentadas, pois possuem maior massa por unidade de volume. Essa informação é fundamental para o cálculo da massa total a ser extraída, do rendimento dos explosivos e do dimensionamento do transporte.

A correta análise dessas propriedades permite realizar um desmonte mais eficiente e econômico, reduzindo perdas e aumentando a segurança da operação. Cada frente de lavra deve ser estudada individualmente, respeitando as variações geológicas do terreno.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Por que o explosivo foi demitido da mina?

RESPOSTA:

Porque ele vivia causando rupturas no ambiente de trabalho!

PERFURAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS E EQUIPAMENTOS DE PERFURAÇÃO

A perfuração é uma das etapas mais importantes no processo de desmonte de rochas, seja para introduzir explosivos, instalar chumbadores ou facilitar escavações. Essa atividade exige precisão, eficiência energética e compatibilidade entre o tipo de rocha e o equipamento utilizado. A qualidade da perfuração influencia diretamente o rendimento da lavra, a fragmentação do maciço e o controle de vibrações, gases e estabilidade da frente de trabalho.

Tipos de perfuração

A perfuração pode ser classificada segundo diferentes critérios: a direção dos furos, o tipo de esforço aplicado e a tecnologia empregada. Em mineração, os furos são geralmente

realizados com o objetivo de alojar explosivos, mas também podem servir para investigação geotécnica ou drenagem de maciços.

Quanto à orientação

- Perfuração vertical: comum em lavras a céu aberto, permite furos de desmonte de bancada com maior profundidade e eficiência.
- Perfuração inclinada: usada para direcionar os furos conforme o plano de fogo desejado.
- Perfuração horizontal: frequentemente empregada em minas subterrâneas e túneis, com aplicação em avanço de galerias e sondagens.

A escolha da orientação depende da geometria da frente de lavra e do tipo de desmonte a ser realizado.

Métodos de perfuração

Existem diferentes métodos de perfuração, cada um adequado a determinadas condições geológicas e operacionais. Eles se distinguem pelo tipo de energia utilizada e pela forma de transmissão do impacto ou rotação à rocha.

Perfuração rotativa

Nesse método, a broca gira continuamente sobre a superfície da rocha, fragmentando-a por abrasão. É indicado para rochas menos resistentes ou para sondagens profundas em mineração e geotecnia. Costuma ser associado a brocas tricônicas ou de diamante, e seu rendimento depende da pressão aplicada e da rotação constante.

Perfuração percussiva

Utiliza o impacto repetido da haste sobre a rocha, quebrando-a por sucessivos golpes. É muito usada em rochas duras, especialmente com martelos pneumáticos manuais ou montados em perfuratrizes. O avanço é mais rápido que na perfuração rotativa pura, e sua principal limitação está na profundidade dos furos.

Perfuração rotopercussiva

Combina o movimento rotativo com golpes percussivos. Essa técnica é amplamente usada em lavras de grande porte, tanto a céu aberto quanto subterrâneas, por permitir penetração eficiente mesmo em rochas muito resistentes. Os jumbos hidráulicos e martelos de fundo (DTH) utilizam esse princípio para alcançar maior profundidade e qualidade do furo.

Equipamentos de perfuração

A escolha do equipamento depende da profundidade desejada, tipo de rocha, produtividade necessária e condições de acesso. Os principais grupos de equipamentos incluem:

Martelos pneumáticos manuais

São leves, versáteis e operados manualmente, sendo comuns em pequenas escavações e lavras de menor porte. Apesar de sua simplicidade, são eficientes em frentes curtas e de fácil acesso.

Perfuratrizes sobre trilhos ou sobre rodas

Utilizadas em lavras a céu aberto, possuem brocas que operam com energia hidráulica ou pneumática. Sua principal vantagem está na mobilidade e na capacidade de perfuração em profundidade, com precisão e repetitividade.

Jumbos de perfuração

São equipamentos automotores, com braços articulados e sistemas computadorizados que permitem perfurações múltiplas de forma simultânea. Usados principalmente em minas subterrâneas, oferecem produtividade elevada, segurança operacional e controle preciso do plano de fogo.

Martelos de fundo (DTH)

Indicados para furos profundos em rochas muito duras, esses sistemas têm o mecanismo percussivo acoplado à extremidade do furo, o que reduz a perda de energia e aumenta a eficiência da perfuração.

O desempenho de uma operação de perfuração está diretamente ligado à qualidade dos equipamentos, à manutenção preventiva e à escolha correta do método, levando em consideração o tipo de rocha e o objetivo do desmonte. Erros nessa fase podem comprometer todo o processo de lavra, elevar custos e aumentar riscos operacionais.

PROPRIEDADES, CLASSIFICAÇÃO E TIPOS DE EXPLOSIVOS

Os explosivos utilizados na mineração são substâncias capazes de liberar energia rapidamente por meio de reações químicas intensas, resultando na formação de gases, calor e ondas de choque. Essa energia, quando adequadamente aplicada, fragmenta o maciço rochoso, possibilitando o desmonte eficiente da rocha para posterior carregamento, transporte e beneficiamento. A escolha correta do explosivo depende de uma série de variáveis operacionais, como o tipo de rocha, as condições da frente de lavra, os equipamentos utilizados e a segurança da operação. Para isso, é essencial conhecer as propriedades técnicas, a classificação e os tipos mais utilizados em campo:

Propriedades dos explosivos

As propriedades físicas e químicas dos explosivos determinam sua aplicação e comportamento no interior da rocha. Avaliar essas características com precisão permite selecionar o produto mais adequado ao tipo de desmonte, reduzindo perdas, melhorando a fragmentação e assegurando o controle operacional:

Velocidade de detonação

Refere-se à velocidade com que a frente de reação se propaga dentro do explosivo. É expressa em metros por segundo (m/s) e influencia diretamente o grau de fragmentação da rocha. Explosivos com alta velocidade de detonação, como emulsões e dinamites, são indicados para rochas duras, pois produzem fragmentação mais fina.

Energia específica

Representa a quantidade de energia liberada por unidade de massa do explosivo. Quanto maior essa energia, maior será o volume de rocha movimentado ou fragmentado. É um parâmetro essencial no cálculo da razão de carregamento e no dimensionamento do plano de fogo.

Sensibilidade

Diz respeito à facilidade com que o explosivo reage a estímulos como calor, impacto ou atrito. Explosivos com alta sensibilidade são mais perigosos para transporte e manuseio, sendo geralmente utilizados como iniciadores. Já os menos sensíveis exigem dispositivos específicos para serem detonados com segurança.

Estabilidade química

A estabilidade está relacionada à resistência do explosivo à degradação química, à umidade, às variações de temperatura e ao tempo de armazenamento. Em ambientes úmidos, como minas subterrâneas ou bancadas encharcadas, é necessário utilizar explosivos resistentes à água, como emulsões bombeadas.

Classificação dos explosivos

A classificação dos explosivos utilizados na mineração pode variar conforme o seu comportamento químico, a função que exercem no sistema de desmonte ou o nível de sensibilidade ao impacto, calor e atrito. Compreender essas categorias é fundamental para selecionar o explosivo mais adequado a cada tipo de rocha, ambiente e objetivo do

desmante, reduzindo riscos e aumentando a eficiência da operação. A seguir, apresentam-se as principais formas de classificação adotadas:

Quanto ao tipo de reação

Os explosivos podem ser classificados com base na forma como se comportam durante sua decomposição. Essa reação pode ocorrer sob a forma de uma queima rápida (sem formação de onda de choque) ou de uma detonação violenta (com geração de onda de choque), influenciando diretamente sua aplicação na mineração. Assim, distinguem-se dois grupos principais:

- Deflagrantes: São explosivos que reagem por combustão rápida, sem gerar uma frente de detonação. São utilizados como propelentes, por exemplo, em cartuchos e foguetes, mas não são eficazes para desmante de rochas.
- Detonantes: São explosivos que se decompõem por meio de uma frente de choque supersônica, promovendo fragmentação eficiente da rocha. São amplamente utilizados em lavra por sua capacidade de romper maciços com controle e precisão.

Quanto à finalidade

Os explosivos também são classificados segundo a função que desempenham dentro do sistema de desmante. Cada componente do carregamento tem uma função específica, seja de iniciar o processo ou de liberar a maior parte da energia no momento da detonação. Essa divisão funcional permite maior controle e segurança na operação, e pode ser descrita da seguinte forma:

- Explosivos principais: São aqueles que ocupam a maior parte do volume dos furos e promovem a fragmentação do maciço. ANFO, emulsões e dinamites são os exemplos mais utilizados como carga principal.

- Explosivos iniciadores: São produtos altamente sensíveis, responsáveis por iniciar a detonação. Incluem espoletas, reforçadores e cordéis detonantes. Sem eles, os explosivos principais, que são mais estáveis, não seriam detonados com eficiência.

Quanto à sensibilidade

A sensibilidade dos explosivos refere-se à facilidade com que podem ser iniciados por atrito, impacto, calor ou faísca. Esse critério é essencial tanto para a segurança do transporte e armazenamento quanto para o desenho do plano de fogo. Com base nesse fator, os explosivos são divididos em dois grupos:

- Altamente sensíveis: Reagem com facilidade a estímulos externos, sendo perigosos para manuseio em grandes volumes. São utilizados em pequenas quantidades, geralmente como iniciadores (ex: nitroglicerina pura ou espoletas).
- Pouco sensíveis: Mais estáveis, exigem iniciadores para serem detonados. São ideais para o preenchimento principal dos furos de desmonte, como as emulsões bombeadas e o ANFO.

Tipos de explosivos mais utilizados na mineração

Diversos tipos de explosivos são utilizados nas atividades de lavra, cada um com características específicas que atendem a determinadas condições operacionais. A escolha deve considerar a umidade do furo, o tipo de rocha, a sensibilidade desejada e a geometria do plano de fogo:

ANFO (Nitrato de amônio + óleo combustível)

É o explosivo mais amplamente utilizado na mineração a céu aberto. Seu baixo custo, facilidade de manuseio e boa eficiência em rochas secas o tornam uma escolha padrão em muitas operações. Sua principal limitação é a sensibilidade à umidade, o que o torna inadequado em frentes encharcadas ou submersas.

Emulsões explosivas

Apresentam excelente resistência à água, alta estabilidade e possibilidade de bombeamento direto no furo. São ideais para uso em ambientes subterrâneos ou bancadas úmidas. Sua versatilidade permite o ajuste da densidade e sensibilidade conforme a necessidade do desmonte.

Dinamites gelatinosas

Apesar de menos utilizadas atualmente, ainda têm aplicação em desmontes especiais ou em situações que exigem maior energia por unidade de volume. São mais sensíveis e possuem alto poder de detonação, sendo úteis em furos de pequeno diâmetro ou maciços extremamente resistentes.

Slurries

São explosivos em suspensão aquosa com resistência razoável à umidade e aplicabilidade em diferentes condições. Com o avanço das emulsões, seu uso tem sido gradualmente substituído por alternativas mais eficientes.

A correta aplicação dos explosivos, considerando suas propriedades e classificações, é essencial para alcançar fragmentação adequada, segurança na operação e economia no processo de lavra. O próximo passo no processo é entender como essas substâncias atuam no interior da rocha, por meio das teorias de fragmentação, acessórios de detonação e planejamento de fogo.

OBSERVAÇÕES:

Em minas de ferro a céu aberto, como em Carajás (PA), o ANFO é o explosivo mais utilizado por sua eficiência em rochas secas e custo reduzido. Porém, em frentes úmidas, o uso de emulsões bombeadas é obrigatório para evitar falhas de detonação.

**VOCÊ SABIA?****A dinamite foi inventada por acidente.**

Alfred Nobel desenvolveu a dinamite ao tentar estabilizar a nitroglicerina para transporte seguro. A mistura com sílica gerou o explosivo mais usado por décadas.

DESMONTE DE ROCHAS COM EXPLOSIVOS: TEORIAS, ACESSÓRIOS E PLANO DE FOGO A CÉU ABERTO

O desmonte de rochas com explosivos é uma das etapas mais importantes e sensíveis do ciclo da mineração. Sua função é romper o maciço rochoso de forma controlada, gerando fragmentos em tamanho adequado para o carregamento e transporte. Um desmonte bem executado contribui para a eficiência operacional, redução de custos e minimização de impactos ambientais.

Para atingir esses objetivos, é necessário compreender os fundamentos teóricos da fragmentação, os acessórios envolvidos na detonação e os critérios utilizados no planejamento do plano de fogo.

Teorias de fragmentação de rochas com explosivos

A fragmentação de rochas por explosivos é o resultado da liberação instantânea de energia armazenada na carga detonada. Essa energia gera uma onda de choque e gases de alta pressão, que se propagam na rocha e promovem sua ruptura. Várias teorias tentam explicar esse processo físico, sendo as mais conhecidas:

Teoria da energia radial

Propõe que a energia liberada se propaga a partir do furo de detonação em todas as direções, criando tensões radiais que rompem a rocha. Essa teoria justifica a necessidade

de afastamentos e espaçamentos adequados entre os furos para maximizar a fragmentação.

Teoria da trinca em cunha

Afirma que a ruptura ocorre prioritariamente em zonas de concentração de tensões, gerando trincas que se propagam em forma de cunha a partir do furo. Essa teoria explica a importância da orientação das fraturas naturais no comportamento da rocha após a detonação.

Teoria do volume de gases

Defende que a fragmentação ocorre principalmente pela ação dos gases gerados durante a reação explosiva, que penetram nas descontinuidades da rocha e as expandem. Essa teoria reforça a importância da porosidade e estrutura interna do maciço no resultado do desmonte.

Essas teorias não são excludentes, mas sim complementares. Na prática, a fragmentação resulta de uma combinação entre impacto da onda de choque, expansão de gases e características da rocha.

Acessórios de detonação

Os acessórios são componentes indispensáveis para garantir o controle e a segurança do desmonte. Eles iniciam, sincronizam e direcionam a energia dos explosivos principais, possibilitando que a detonação ocorra na ordem e no tempo desejado. Os principais acessórios utilizados são:

Espoletas (iniciadores)

São dispositivos sensíveis à chama ou impacto que iniciam a detonação. Podem ser elétricas, não elétricas (NONEL) ou eletrônicas. Sua função é converter o sinal de disparo em uma reação inicial que ative o explosivo secundário.

Cordel detonante

É um tubo flexível preenchido com um explosivo de alta velocidade (geralmente PETN), que transmite a detonação ao longo de seu comprimento. Serve para conectar espoletas e cartuchos, garantindo detonações simultâneas em múltiplos pontos.

Reforçadores

São cargas intermediárias de explosivos sensíveis, posicionadas entre o iniciador e o explosivo principal. Aumentam a eficiência da detonação, especialmente quando o explosivo principal é pouco sensível.

Retardos

São dispositivos que permitem que os furos explodam com intervalos controlados entre si, geralmente em milissegundos. Podem ser usados para reduzir vibrações, direcionar o colapso da rocha e melhorar a fragmentação.

O uso correto desses acessórios permite que o desmonte ocorra de forma controlada, segura e adaptada às características da frente de lavra.

Plano de fogo a céu aberto

O plano de fogo é o projeto técnico que define como será feita a disposição dos furos, a carga de explosivos, a sequência de detonação e os acessórios a serem utilizados. Em lavras a céu aberto, o plano de fogo deve considerar a geometria da bancada, o tipo de rocha, o equipamento de perfuração disponível e os objetivos de fragmentação.

Entre os principais parâmetros do plano de fogo, destacam-se:

Diâmetro dos furos

É escolhido conforme o tipo de perfuratriz e o volume de rocha a ser desmontado. Furos de maior diâmetro permitem maior carga por metro e maior espaçamento.

Profundidade e subperfuração

A profundidade deve ser suficiente para cobrir toda a altura da bancada, com um acréscimo de subperfuração para garantir que não fiquem blocos presos na base.

Afastamento e espaçamento

O afastamento é a distância entre os furos na direção da frente, enquanto o espaçamento é a distância lateral entre fileiras de furos. Devem ser definidos para evitar sobreposição excessiva ou áreas não fragmentadas.

Altura da bancada

Afeta diretamente o volume de rocha por desmonte e deve estar compatível com os equipamentos de carregamento e transporte.

Sequência e tempo de detonação

A ordem e o intervalo de explosão dos furos são ajustados por meio dos retardos, permitindo o direcionamento da quebra da rocha e a redução de vibrações.

Um plano de fogo bem executado permite fragmentação uniforme, menor geração de finos, otimização do carregamento e segurança ao redor da frente de lavra.

O domínio do desmonte de rochas com explosivos exige não apenas conhecimento técnico sobre os produtos utilizados, mas também sensibilidade para interpretar as condições geológicas e adaptar os parâmetros operacionais. Um plano de fogo eficiente transforma a energia química dos explosivos em produtividade com controle e segurança.

EXEMPLO:

Um plano de fogo com espaçamento mal calculado entre furos pode causar subfragmentação da rocha, dificultando o carregamento e aumentando o consumo de combustível dos caminhões e escavadeiras.

**SE LIGA NA CHARADA!**

PERGUNTA:

O que a rocha disse quando viu o engenheiro chegando com o plano de fogo?

RESPOSTA:

Lá vem bomba!

DESMONTES MECÂNICO E HIDRÁULICO

Nem sempre o uso de explosivos é a única ou mais indicada forma de fragmentar rochas. Em diversos contextos — como áreas urbanas, ambientes sensíveis, lavras de pequena escala ou frentes com restrições legais — recorrem-se a métodos alternativos, como o desmonte mecânico e o desmonte hidráulico. Esses processos, apesar de apresentarem menor rendimento em relação ao desmonte com explosivos, oferecem maior controle operacional e segurança, com impactos ambientais reduzidos. A escolha entre os métodos depende de fatores como o tipo de rocha, o objetivo da escavação, os equipamentos disponíveis e as exigências de segurança e licenciamento.

Desmonte mecânico

O desmonte mecânico baseia-se na aplicação direta de força física sobre a rocha por meio de equipamentos dotados de ferramentas metálicas de impacto, percussão ou corte. É especialmente útil em situações em que se busca precisão, baixo impacto ambiental e eliminação dos riscos associados ao uso de explosivos.

Métodos mais comuns

Diversos equipamentos e técnicas podem ser empregados no desmonte mecânico, variando conforme a dureza da rocha, o volume de material a ser removido e o espaço disponível para operação. Os métodos mais utilizados são:

- Rompedores hidráulicos (martelos hidráulicos): acoplados a escavadeiras, são largamente empregados na quebra de blocos de rocha após o desmonte ou na escavação de maciços fraturados.
Fresadoras ou mineradores contínuos: utilizam tambores giratórios com pinos de metal duro que fragmentam a rocha progressivamente. São comuns em lavras de carvão, sais e rochas brandas.
- Cunhas hidráulicas ou expansivas: aplicadas em furos previamente perfurados, atuam por expansão interna, promovendo a ruptura da rocha por pressão lateral controlada.

Desmonte hidráulico

O desmonte hidráulico utiliza a força da água sob alta pressão para remover ou fragmentar materiais soltos, inconsolidados ou de baixa resistência mecânica. Esse método é valorizado pela ausência de vibrações, gases tóxicos ou risco de explosão, além de possibilitar operação contínua em terrenos saturados.

Aplicações

As aplicações do desmonte hidráulico concentram-se em contextos onde o material lavrado pode ser removido por erosão dirigida, e onde há disponibilidade de água e estrutura hidráulica de suporte. As situações mais comuns incluem:

- Mineração de aluvião: principalmente na extração de ouro e diamante, em depósitos de cascalho e areia.
- Lavras de carvão e argila: quando o material é friável e pode ser facilmente deslocado pelos jatos de água.

- Remoção e limpeza de taludes e frentes de lavra: especialmente em pedreiras e obras de infraestrutura.

Esses métodos, embora limitados a condições específicas, agregam valor à operação quando bem aplicados, oferecendo maior segurança e controle em situações onde o uso de explosivos não é viável ou desejado.

OBSERVAÇÕES:

Em zonas urbanas onde a detonação é proibida, rompedores hidráulicos têm sido utilizados com sucesso em escavações de fundações profundas, apesar do aumento no tempo de execução.



PAUSA PARA REFLETIR...

"Explodir uma rocha é fácil. Difícil é fazê-lo com precisão, segurança e inteligência."

Alfred Nobel.

NORMAS DE SEGURANÇA PARA MANUSEIO, TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE EXPLOSIVOS

O uso de explosivos em atividades de mineração exige rigorosos controles de segurança em todas as etapas que envolvem seu ciclo de vida — desde o recebimento até o armazenamento, transporte, manuseio e aplicação no plano de fogo. Por seu alto potencial de risco, os explosivos são regulamentados por legislações específicas que tratam não apenas da proteção das pessoas e do patrimônio, mas também da prevenção de acidentes ambientais e do controle de desvios.

No Brasil, as normas que orientam essas práticas são definidas por órgãos como o Exército Brasileiro, o Ministério do Trabalho e Emprego (por meio da NR-19) e a Agência Nacional de Mineração (ANM). O descumprimento dessas regras pode resultar em autuações severas, paralisações operacionais e, principalmente, em graves acidentes.

Normas legais e regulatórias

As principais normas que regem a segurança no uso de explosivos na mineração incluem:

- Portaria nº 3.233/2012 – Exército Brasileiro: regula a aquisição, uso, armazenamento e transporte de explosivos e acessórios, exigindo cadastro, autorização prévia e rastreabilidade total dos produtos.
- NR-19 – Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho: estabelece requisitos de segurança para o armazenamento de explosivos, incluindo distâncias mínimas, sinalização, ventilação, controle de temperatura e proteção contra incêndios.
- Resoluções da ANM: tratam da segurança operacional das frentes de lavra, do plano de fogo e da obrigatoriedade de profissionais habilitados para o manuseio dos produtos.

Armazenamento de explosivos

O armazenamento seguro de explosivos exige infraestrutura adequada, localização estratégica e vigilância constante. As instalações devem seguir os critérios estabelecidos em norma, considerando:

- Paio principal (ou depósito): construção isolada, com paredes resistentes, cobertura leve (para dissipar a explosão, se ocorrer), piso não metálico, ventilação natural e sinalização visível.
- Distância mínima de segurança: o paiol deve estar a uma distância regulamentar de residências, estradas, linhas de transmissão, postos de combustível e áreas urbanas, conforme cálculo previsto na legislação do Exército.

Controle de acesso: entrada restrita a pessoal autorizado, com livro de registro, sistemas de vigilância e ausência de materiais inflamáveis nas proximidades.

Transporte de explosivos

O transporte de explosivos deve ser feito com veículos apropriados, rotas planejadas e acompanhamento técnico. As exigências mais importantes incluem:

- Veículos autorizados: devem ser sinalizados, contar com compartimento isolado, possuir kit de segurança (extintor, rádio, EPIs) e circular preferencialmente em horários e trechos de baixo risco.
- Acompanhamento por profissional capacitado: somente técnicos com treinamento específico podem acompanhar o carregamento, descarregamento e transporte dos materiais.
- Documentação obrigatória: inclui nota fiscal, guia de tráfego, autorização do Exército e plano de contingência em caso de acidente.

Manuseio em campo

Durante a operação em campo, os explosivos devem ser manuseados com extrema cautela, respeitando as orientações técnicas e os protocolos de segurança. Algumas práticas fundamentais incluem:

- Uso obrigatório de EPIs: óculos, luvas isolantes, capacetes, botas antiderrapantes e roupas antiestáticas.
 - Proibição de fontes de ignição: celulares, fósforos, faíscas, motores desprotegidos e ferramentas metálicas não aterradas são estritamente proibidos.
 - Procedimento de carregamento dos furos: deve ser feito apenas com ferramentas não metálicas, seguindo o plano de fogo aprovado por profissional habilitado.
- Controle de quantidade e rastreabilidade: todo o material utilizado deve ser

contabilizado e registrado, com identificação dos lotes, responsáveis e local de aplicação.

A segurança na utilização de explosivos vai muito além da etapa de detonação. Ela começa no armazenamento, passa pelo transporte e só termina com o retorno dos acessórios não utilizados. O cumprimento das normas legais e técnicas não é apenas uma exigência regulamentar, mas uma responsabilidade ética, profissional e humana em qualquer atividade mineradora.



VOCÊ SABIA?

O som da explosão viaja mais devagar que o impacto

Durante uma detonação, a rocha pode começar a se fragmentar antes que o som da explosão chegue ao ouvido, devido à velocidade supersônica da onda de choque.

AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é uma fonte de energia amplamente utilizada em operações de mineração, especialmente na perfuração e no manuseio de ferramentas pneumáticas. Por ser uma forma limpa, relativamente segura e de fácil distribuição, o ar comprimido desempenha um papel fundamental na operação de equipamentos como perfuratrizes, rompedores, martelos pneumáticos, válvulas e sistemas auxiliares em frentes de lavra, tanto a céu aberto quanto subterrâneas.

Além disso, sua aplicação está associada a ambientes com risco de explosão, já que não gera faíscas, tornando-se ideal para uso em conjunto com explosivos e em áreas confinadas.

Princípios e funcionamento

O ar comprimido é produzido por compressores, que aspiram o ar atmosférico e o comprimem até pressões elevadas, geralmente entre 6 e 10 bar. Esse ar é então armazenado em reservatórios e conduzido por tubulações até os pontos de uso. A energia armazenada sob pressão é liberada de forma controlada nos equipamentos, realizando trabalho mecânico por expansão ou impacto.

Os sistemas de ar comprimido são compostos por:

- Compressores (alternativos ou de parafuso): responsáveis pela geração da pressão necessária.
- Reservatórios: acumulam o ar e garantem suprimento contínuo.
- Secadores e filtros: removem impurezas e umidade que podem danificar os equipamentos.
- Redes de distribuição: canalizam o ar até os pontos de consumo com mínima perda de pressão.

Aplicações na mineração

Na mineração, o ar comprimido é utilizado principalmente em:

- Perfuratrizes pneumáticas: para perfuração de furos de desmonte com martelo de topo ou rotopercussão.
- Martelos pneumáticos manuais: empregados em pequenos desmontes, serviços auxiliares ou abertura de galerias.
- Sistemas de limpeza de furos: para remoção de detritos e resíduos antes do carregamento de explosivos.
- Acessórios de acionamento pneumático: como válvulas, empurradores e sistemas de ventilação auxiliar.

Essas aplicações exigem que o sistema de ar seja projetado com atenção à vazão, à pressão e à distribuição adequada para garantir a eficiência e evitar quedas de desempenho nas frentes de trabalho.

Cuidados operacionais

O uso de ar comprimido, apesar de seguro em comparação a outras formas de energia, requer cuidados específicos:

- Verificação constante de vazamentos: perdas em conexões e tubulações são comuns e comprometem a eficiência do sistema.
Manutenção preventiva dos compressores: inclui troca de óleo, filtros, inspeção de válvulas de segurança e testes de eficiência.
- Evitar exposição direta: o jato de ar comprimido pode causar lesões se direcionado ao corpo humano ou a estruturas frágeis.
- Controle da umidade: o ar úmido provoca corrosão nas tubulações e danos aos equipamentos pneumáticos.

O ar comprimido é uma das ferramentas mais versáteis da mineração, oferecendo suporte operacional em diversas frentes de trabalho. Seu uso adequado, com manutenção e controle da rede de distribuição, garante maior produtividade, segurança e economia nos processos que envolvem perfuração, limpeza e acionamento de sistemas.



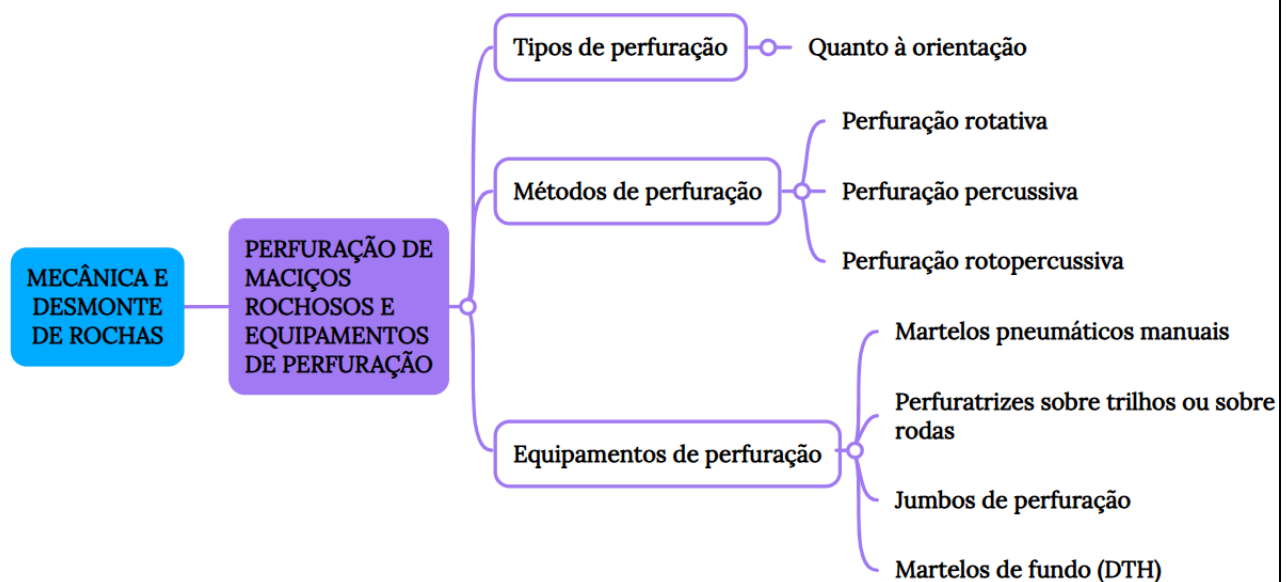
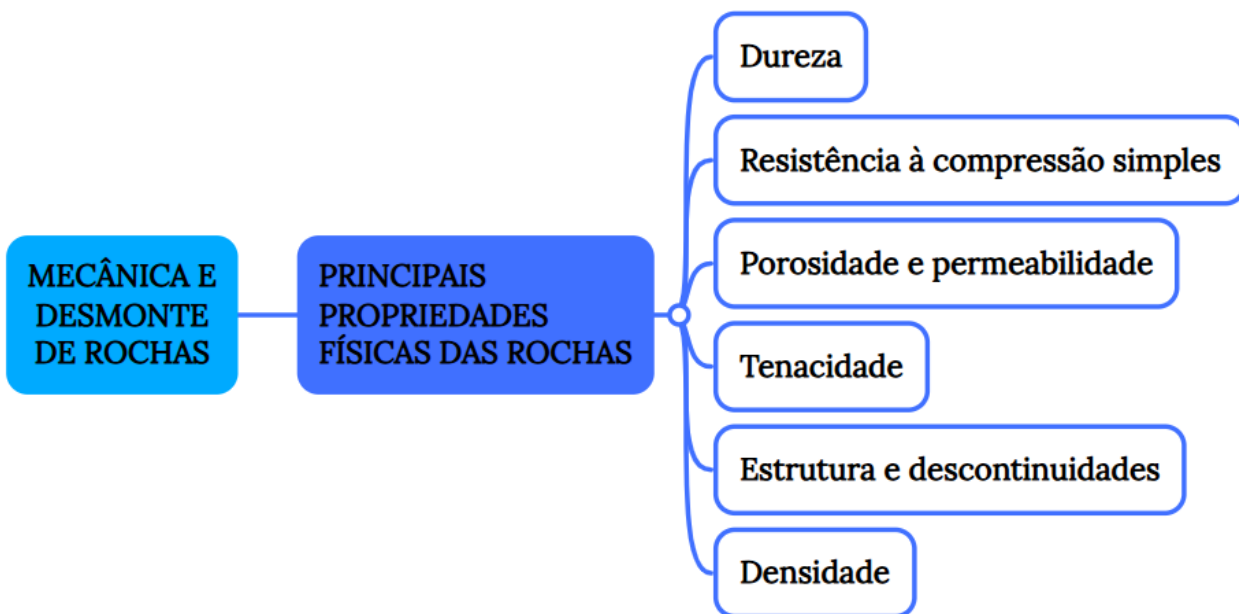
VOCÊ SABIA?

Minas subterrâneas usam detonações com precisão milimétrica

Jumbos modernos controlam digitalmente a profundidade, o ângulo e o tempo de cada furo, permitindo planos de fogo altamente controlados, com menor emissão de poeira e ruído.

SESSÕES ESPECIAIS

MAPA DE ESTUDO



MECÂNICA E
DESMONTE
DE ROCHAS

PROPRIEDADES,
CLASSIFICAÇÃO
E TIPOS DE
EXPLOSIVOS

Propriedades dos explosivos

- Velocidade de detonação
- Energia específica
- Sensibilidade
- Estabilidade química

Classificação dos explosivos

- Quanto ao tipo de reação
- Quanto à finalidade
- Quanto à sensibilidade

Tipos de explosivos mais
utilizados na mineração

- ANFO (Nitrato de amônio + óleo combustível)
- Emulsões explosivas
- Dinamites gelatinosas
- Slurries

MECÂNICA E
DESMONTE
DE ROCHAS

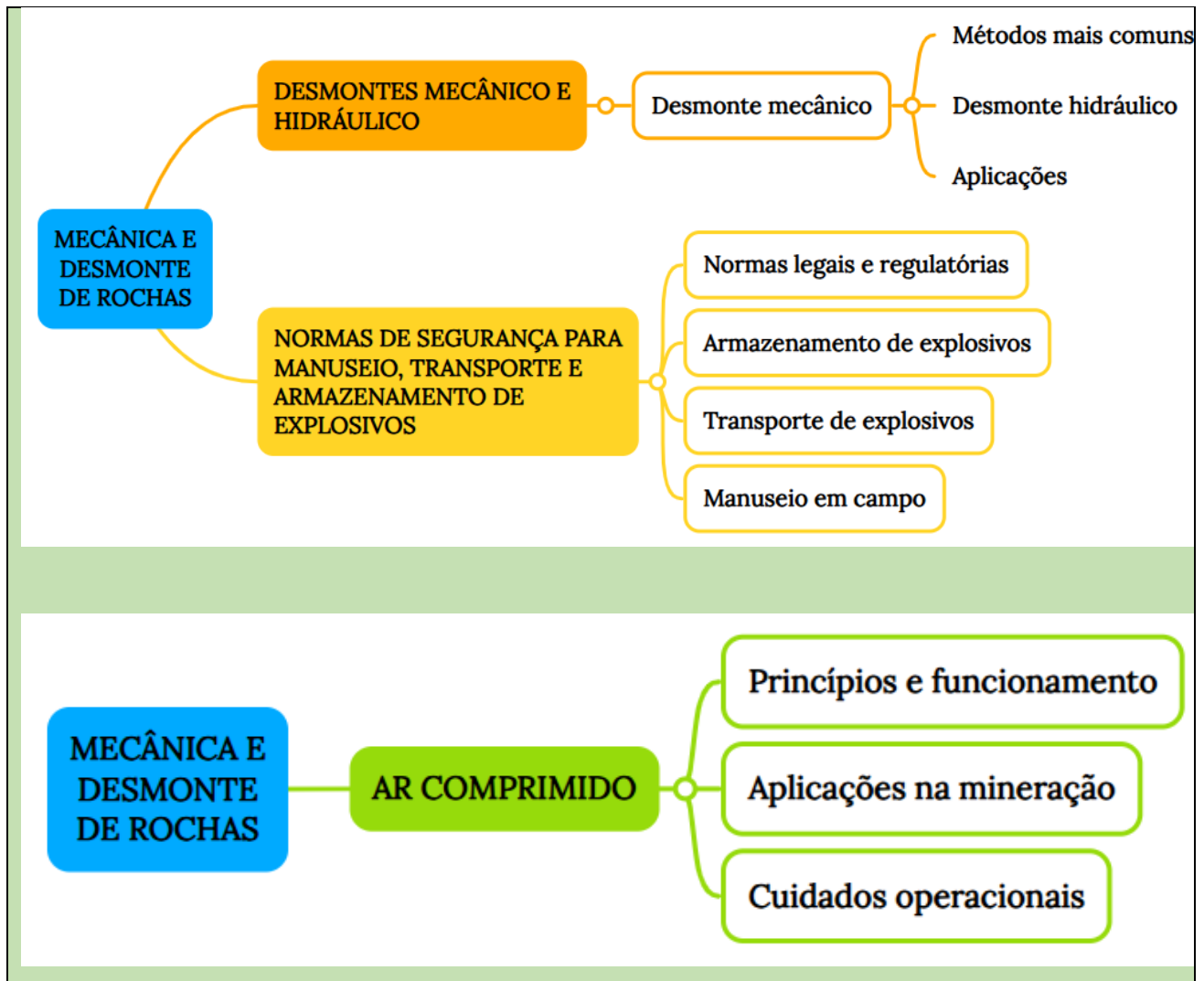
DESMONTE DE ROCHAS COM
EXPLOSIVOS: TEORIAS,
ACESSÓRIOS E PLANO DE
FOGO A CÉU ABERTO

Teorias de fragmentação
de rochas com explosivos

- Teoria da energia radial
- Teoria da trinca em cunha
- Teoria do volume de gases

Acessórios
de detonação

Espoletas (iniciadores), cordel detonante, reforçadores, retardos, plano de fogo a céu aberto, diâmetro dos furos, profundidade e subperfuração, afastamento e espaçamento, altura da bancada, sequência e tempo de detonação



SÍNTESE DIRETA

1. PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ROCHAS

- Dureza, tenacidade, porosidade e resistência à compressão influenciam diretamente a escolha do método e do tipo de desmonte.
- Compreender essas propriedades permite fragmentar rochas com maior eficiência e menor desperdício.

2. PERFURAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- Pode ser rotativa, percussiva ou rotopercussiva. Equipamentos variam entre manuais, jumbos e martelos de fundo.

- A qualidade da perfuração define o sucesso do plano de fogo.

3. **EXPLOSIVOS**

- Classificados por reação (detonantes ou deflagrantes), finalidade (principal ou iniciador) e sensibilidade.
- ANFO, emulsões e dinamites são os mais utilizados, com escolha baseada em segurança, tipo de rocha e ambiente.

4. **DESMONTE COM EXPLOSIVOS**

- Baseado em teorias de fragmentação e acessórios como espoletas, cordéis e reforçadores.
- O plano de fogo deve considerar geometria da bancada, sequência de detonação e controle de vibrações.

5. **DESMONTE MECÂNICO E HIDRÁULICO**

- Alternativas ao uso de explosivos em ambientes restritos.
- Aplicações em rochas brandas, ambientes urbanos ou escavações de precisão.

6. **SEGURANÇA COM EXPLOSIVOS**

- Regido por normas do Exército, NR-19 e ANM. Envolve controle no armazenamento, transporte e operação em campo.
- O cumprimento rigoroso dessas normas evita acidentes e autuações.

7. **AR COMPRIMIDO**

- Fonte de energia para perfuração e ferramentas pneumáticas.
- Requer manutenção constante, controle de umidade e sistemas bem projetados.

MOMENTO QUIZ

1. Qual das propriedades abaixo está diretamente relacionada à resistência de uma rocha à propagação de fraturas após o início da ruptura?

- a) Dureza.
- b) Densidade.

- c) Porosidade.
- d) Tenacidade.
- e) Permeabilidade.

2. Em relação ao ANFO (Nitrato de Amônio + Óleo Combustível), é correto afirmar que:

- a) Apresenta alta resistência à água e é ideal para frentes úmidas.
- b) É um explosivo altamente sensível e perigoso para transporte.
- c) É amplamente utilizado em lavra a céu aberto por seu baixo custo e boa eficiência em rochas secas.
- d) Substituiu as emulsões bombeadas em lavras subterrâneas.
- e) É um explosivo deflagrante de baixa velocidade.

3. Qual dos acessórios abaixo tem como principal função transmitir a detonação ao longo de múltiplos furos de forma sincronizada?

- a) Espoleta elétrica.
- b) Cordel detonante.
- c) Reforçador.
- d) Retardador de tempo.
- e) Iniciador de superfície.

4. Sobre o desmonte hidráulico, é correto afirmar que:

- a) É indicado apenas para lavras subterrâneas com rochas duras.
- b) Depende de jatos de ar comprimido para remover material.
- c) É uma técnica exclusiva para escavações urbanas.
- d) Utiliza água sob alta pressão para fragmentar materiais inconsolidados ou friáveis.
- e) Substitui com eficiência o uso de ANFO em qualquer tipo de rocha.

5. De acordo com a NR-19 e a legislação vigente, o armazenamento de explosivos em paíóis deve obedecer a critérios como:

- a) Construção em alvenaria com cobertura metálica e presença de materiais inflamáveis nas proximidades.
- b) Acesso livre a qualquer trabalhador portando crachá.

- c) Estrutura isolada, com sinalização, ventilação e piso não metálico.
- d) Ausência de ventilação para evitar dispersão de gases.
- e) Compartilhamento com combustíveis e lubrificantes para otimizar espaço.

GABARITO QUIZ

QUESTÃO	ALTERNATIVA
1	D
2	C
3	B
4	D
5	C

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-19 – Explosivos**. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 2025.

BRASIL. Exército Brasileiro. **Portaria nº 3.233, de 10 de dezembro de 2012**. Aprova o Regulamento para Fiscalização de Produtos Controlados (R-105). Brasília, 2012.

CHAVES, Arthur Pinto. *Técnicas de Lavra a Céu Aberto*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

DINIZ, Raul. *Perfuração e Desmonte de Rochas*. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2015.

POHL, Walter L. *Economic Geology: Principles and Practice*. 2. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011.

SILVA, Henrique de Oliveira. *Engenharia de Minas: Explosivos e Desmonte de Rochas*. 3. ed. Belo Horizonte: CETEC, 2014.

VALENTE, Valéria S.; GALERY, Roberto; GOMES, Carlos B. *Cominuição e Classificação Mineral: Fundamentos e Aplicações*. Ouro Preto: CETEC, 2013.

VILLAS BÔAS, Roberto C.; SÁNCHEZ, Mirna M. L.; LUZ, Antônio B. *Introdução ao Tratamento de Minérios*. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2019.



OBRIGADO!
CONTINUE ESTUDANDO.