

**ACADEMIA MILITAR DAS AGULHAS NEGRAS
ACADEMIA REAL MILITAR (1810)**

HICHEM TANNOURI

**PROPOSTA DE REFORMULAÇÃO DO CÁLCULO DE EXPLOSIVO PARA A
ABERTURA DE CRATERAS: Com foco no estudo do cálculo de carga para execução
de crateras rápidas**

Resende

2018

HICHEM TANNOURI

**PROPOSTA DE REFORMULAÇÃO DO CÁLCULO DE EXPLOSIVO PARA A
ABERTURA DE CRATERAS: Com foco no estudo do cálculo de carga para execução
de crateras rápidas**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Academia Militar das
Agulhas Negras como parte dos
requisitos para a Conclusão do Curso
de Bacharel em Ciências Militares, sob
a orientação do Cel Ref Geraldo
Mendes GUTIAN.

Resende

2018

HICHEM TANNOURI

**PROPOSTA DE REFORMULAÇÃO DO CÁLCULO DE EXPLOSIVO PARA A
ABERTURA DE CRATERAS: Com foco no estudo do cálculo de carga para execução
de crateras rápidas**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Academia Militar das
Agulhas Negras como parte dos
requisitos para a Conclusão do Curso
de Bacharel em Ciências Militares, sob
a orientação do Cel Ref Geraldo
Mendes GUTIAN.

COMISSÃO AVALIADORA

Cel Ref Geraldo Mendes GUTIAN.– Orientador

Avaliador

Avaliador

Resende

2018

AGRADECIMENTOS

Ao curso de Engenharia da Academia Militar das Agulhas Negras, agradeço pelos conteúdos ministrados, pelas lições aprendidas e pelas experiências passadas pelos diversos militares que compuseram as equipes de instrução e de apoio no decorrer dos meus três anos de formação como militar oriundo de engenharia.

Agradeço ao Senhor Coronel Geraldo Mendes GUTIAN, pelo assessoramento e apoio para a produção desse trabalho bem como a dedicação permanente em apoio a todas as atividades extra AMAN, das quais me foi permitido tirar ensinamentos que agregam não só o conhecimento como militar, mas a postura e o caráter como indivíduo.

A minha família agradeço o apoio e o empenho em me prover todos os meios para superar todas as dificuldades que vieram a surgir durante toda minha formação. Diante de tantos momentos dos quais fizeram renúncia em prol de minhas atividades e de tanto abrirem mão dos tempos que tinham de descanso com o simples objetivo de prestigiar alguma de minhas conquistas.

A todos os meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, mesmo que distantes fisicamente, sempre estiveram dispostos a ajudar no que fosse necessário e sempre se faziam presentes frente aos conflitos que tive de combater durante esses cinco anos. Agradeço em particular ao Sr. Guilherme Carvalho da Silva e seus familiares que frente às diversas impossibilidades me acolheram como membro de sua família e que sempre estiveram ao meu lado para suprir qualquer necessidade que surgisse, irmão de longa data que sempre me proporcionou forças para superar os obstáculos da vida pessoal e profissional.

Agradeço a Srta. Beatriz Nascimento Couto, que hoje não pode mais estar ao meu lado por impossibilidade do destino que hoje faz com que nossos caminhos sigam em direções opostas, mas agradeço por cada segundo, cada surpresa, cada sorriso, cada lágrima de saudade que por vezes deixara em nossas despedidas e por sempre me mostrar quão poderoso e o sentimento de se dedicar a uma paixão, seja ela pessoal ou profissional. Agradeço por estar ao meu lado e, por mais que hoje não estejamos juntos, ter me amado incondicionalmente enquanto estivemos.

RESUMO

TANNOURI, Hichem. **Proposta de reformulação do cálculo de explosivo para a abertura de crateras: com foco no estudo do cálculo de carga para execução de crateras rápidas.** Resende: AMAN, 2018. Monografia.

O presente trabalho versa sobre a proposta de uma reformulação do cálculo de abertura de crateras, voltado ao estudo do cálculo para crateras rápidas. Outro objetivo é a verificação da falta de um estudo nacional na referida área além de demonstrar as pendências apresentadas na formulação de padrões e de dados pré-determinados. Assim será possível mostrar que o cálculo utilizado atualmente se faz ineficiente uma vez que deixa de lado fatores intrínsecos a aplicação de explosivos, como suas propriedades, e fatores externos, como o ambiente, além de ressaltar as consequências econômicas do emprego de um explosivo que não cumpriria bem a missão proposta.

Palavras-chave: Crateras Rápidas. Explosivos. Consequências Econômicas.

ABSTRACT

TANNOURI, Hichem. **Proposal of reformulation of the explosive calculation for cratering: with a focus on the study of the charge calculation to execute fast craters.** Resende: AMAN, 2018. Monograph.

The present work deals with the proposal of a reformulation of the calculation of crater opening, focused on the study of the calculation for rapid craters. Its objective is to verify the lack of a national study in this area, besides demonstrating the problems presented in the formulation of predetermined standards and data. Then we'll be able to show that the calculation used today is inefficient since it leaves aside intrinsic factors the application of explosives, such as its properties, and external factors, such as the environment, besides highlighting the economic consequences of the use of an explosive that would not fulfill the proposed mission.

Keywords: Cratering. Explosives. Economic Consequences.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	12
2.1 Revisão da literatura e antecedentes do problema	12
2.2 Referencial metodológico e procedimentos	13
3 EXPLOSIVOS	15
3.1 Definição	15
3.2 História da criação dos explosivos	15
3.3 Classificação dos explosivos.....	19
3.3.1 Classificação baseada na aplicação prática dos explosivos.....	20
3.3.2 Classificação quanto ao desempenho	21
3.3.3 Classificação do ponto de vista químico	21
3.3.4 Classificação quanto a sua consistência.....	21
3.4 Propriedades dos explosivos	21
3.4.1 Velocidade de detonação	23
3.4.2 Força de explosão	24
3.4.3 Brisância	25
3.4.4 Higroscopicidade	25
4 EMPREGO DE EXPLOSIVOS PELO EXÉRCITO BRASILEIRO.....	27
4.1 Explosivos empregados pelo EB.....	27
4.1.1 Amatol	27
4.1.2 Azida de chumbo	27
4.1.3 Blade	28
4.1.4 Compostos A3, B e B4	28
4.1.5 Composto C4.....	28
4.1.6 Dinamite militar.....	28
4.1.7 Fulminato de mercúrio.....	29
4.1.8 Nitrato de amônio	29
4.1.9 PETN (Nitropenta)	29
4.1.10 Pentolite	30
4.1.11 Plastex	30
4.1.12 Pólvora negra	30

4.1.13 RDX	30
4.1.14 Tetril	30
4.1.15 Tetritol	31
4.1.16 TNT	31
4.2 Explosivos utilizados na abertura de crateras	31
4.3 Cálculos para abertura de crateras	32
4.4 Peculiaridades de uma cratera rápida.....	33
4.5 Fatores que influenciam na aplicação de explosivos para abertura de crateras rápidas	34
5 ANÁLISE DOS DADOS E EXPOSIÇÃO DOS FATOS	36
CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa realizada buscou tratar do assunto abertura de crateras, mais especificamente referente ao cálculo utilizado para definir a quantidade de carga utilizada para a realização de uma cratera rápida, que é ministrado aos cadetes do curso de engenharia durante o segundo ano de formação na Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN), como prevê a grade curricular da mesma.

O trabalho se ateve a análise apenas do cálculo de abertura de crateras rápidas levando em consideração a preparação e execução do obstáculo propriamente dito.

O objetivo do estudo consiste na demonstração das consequências de serem desconsiderados diversos fatores durante o cálculo de uma carga e de como esses fatores influenciam tanto na eficiência da ação quanto no fator econômico para a nossa força.

A abertura de uma cratera rápida, dentro de uma situação tática se dá em uma condição de oportunidade, sendo assim fica claro que, dentro dessa situação, qualquer explosivo pode ser utilizado para a execução da missão, contudo saber qual explosivo é mais recomendado e também qual explosivo possui o maior custo benefício, seja em questão de aproveitamento, armazenamento ou capacidade de transporte de uma tropa, permitirá maior aproveitamento dos explosivos disponíveis e necessários a qualquer tipo de operação.

Cabe ressaltar que o tema abordado não se limita apenas a questão em foco nesse trabalho, o uso de explosivos em diversas situações, nas quais o Exército o emprega, poderão utilizar tal estudo como base para tratar da influência do efeito relativo de cada explosivo, bem como da compensação econômica de se trabalhar com variedade ao invés de pensar apenas na quantidade de explosivos utilizados.

O foco da pesquisa foi a análise dos fatores influenciadores da aplicação de diferentes tipos de explosivos observando-se suas características técnicas. Além de como esses explosivos reagem quando colocados sob o solo. Tendo em vista que tal tema não apresenta estudos feitos e divulgados pelo próprio Exército Brasileiro, o estudo do cálculo para abertura de crateras, atualmente, não passa de uma crença cega em um manual norte americano que disserta sobre o mesmo tema, sem clarear os motivos e as origens da fórmula que é utilizada pelo Exército para definir a quantificar os explosivos para tal tarefa.

Faz-se necessário definirmos alguns conceitos fundamentais para que seja possível entender como o desenvolvimento do assunto. Primeiramente para tratarmos de explosivos temos que entender que independente do tipo de explosivo existem três tipos de reações que podem ser consideradas como o acionamento destes explosivos, a combustão, a deflagração e

a detonação. O Manual Escolar Explosivos e Destruições (2008) define combustão como uma reação exotérmica que se propaga pela condução térmica alimentada pela presença de oxigênio, deflagração como uma combustão acelerada que causa aumento local de temperatura e pressão e não necessita de oxigênio e, por fim, detonação como uma reação que cria uma onda de choque associada a reação química.

Nossos objetivos foram mostrar a origem dos explosivos e como eles começaram a ser aplicados pelos exércitos no decorrer da história da humanidade e mostrar como o desenvolvimento de explosivos desenvolveu o poder bélico e passou a ser tratado como ferramenta de guerra.

Em seguida buscamos analisar a aplicabilidade dos explosivos nas ações de campanha, mais especificamente nas atividades voltadas a organização do terreno, sendo assim empregados na abertura de crateras.

Entendida a utilização de explosivos para essa finalidade, a intenção foi tratar de como os explosivos são aplicados e distribuídos na atividade de abertura de crateras e, em seguida tratar, exclusivamente, do cálculo utilizado para definir a quantidade e quais explosivos apresentariam os melhores resultados para a atividade.

Finalmente, falamos então de algumas deficiências do cálculo utilizado para definir qual e quanto explosivo deve ser aplicado na atividade específica tratada nesse trabalho. Após as análises desse trabalho ressaltamos alguns aspectos que a fórmula do cálculo da quantidade de explosivos necessários para a abertura de crateras, aspectos como características do terreno e do ambiente no qual o explosivo será empregado ou o efeito relativo que define as capacidades exclusivas de cada explosivo e, por fim, as consequências de desempenho desses explosivos para a atividade e a consequência econômica de se aplicar um explosivo ao invés de outro para tal atividade.

A presente monografia está assim estruturada:

No primeiro capítulo, procuramos tratar da definição de explosivos e agentes explosivos bem como mostrar a origem, a primeira aplicabilidade, como os explosivos passaram a terem fins bélicos e como, no decorrer da história, os explosivos e agentes foram desenvolvidos. Em seguida o trabalho buscou apresentar como os explosivos são classificados e quais propriedades definem os materiais e agentes como explosivos, além de esclarecer as principais propriedades necessárias para entender o porquê do surgimento do escopo deste trabalho.

O segundo capítulo traz uma coleção dos principais explosivos empregados pelo Exército Brasileiro bem como algumas especificidades de cada um desses explosivos, além de

possíveis aplicabilidades para cada um deles. Em seguida tratamos da atividade bélica específica proposta por esse trabalho que é abertura de crateras, mais especificamente a abertura de crateras rápidas. Para finalizar o capítulo, tratamos de mostrar o cálculo utilizado para definir a quantidade de explosivo necessária para se realizar esse trabalho e apresentar quais são os aspectos que não são levados em consideração nesse cálculo.

No terceiro e último capítulo apresentamos as uma análise dos fatos apresentados no capítulo anterior e quais seriam as consequências geradas pelos problemas tratados no escopo do trabalho, ou seja, tratamos nesse capítulo de mostrar as consequências geradas no desempenho dos explosivos quando levamos em consideração os fatores externos, bem como as consequências econômicas geradas no consumo de um explosivo que não é o mais adequado para tal trabalho, além das consequências econômicas da necessidade de atividades extras ao emprego específico, como por exemplo, a necessidade de cuidados com armazenamento dos explosivos utilizados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

O tema de pesquisa insere-se na linha de análise bibliográfica. A construção da pesquisa baseada em fundamentação teórica deve-se a impossibilidade de uma avaliação empírica já que não pôde ser realizado nenhum teste que fundamente, na prática, as conclusões que serão apresentadas no decorrer desse trabalho.

Por se tratar de um campo de investigação com produção de conhecimento técnico e ainda não realizado pelo Exército Brasileiro, o foco da pesquisa foi baseado nas propriedades técnicas dos explosivos e em estudos referentes a sua capacidade de ação em situações diversas. Também para garantir que esses estudos estejam enquadrados no escopo do projeto de pesquisa anteriormente apresentado, tais pesquisas foram feitas, quando buscado em fontes voltadas ao emprego de explosivos no mundo civil, relacionadas ao curso de engenharia civil, mais especificamente à mineração. Diante desse fato foram utilizados trabalhos, apresentações e pesquisas realizadas em universidades de todo o Brasil.

2.1 Revisão da literatura e antecedentes do problema

Diante da pesquisa feita para cumprir as necessidades desse trabalho, foi possível perceber a deficiência dos estudos das Forças Armadas Brasileiras voltadas para área de explosivos utilizados em campanha. Frente a esse fato a maior parte das referências são de caráter internacional. Além dessas fontes internacionais, foram utilizados como fontes também, o manual escolar utilizado para ministrar instruções ao curso de Engenharia da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN), instruções e trabalhos relevantes ao assunto disponibilizadas por universidades e doutores da área de engenharia civil e também um manual de fabricação de explosivos da IMBEL (Indústria de Material Bélico do Brasil) fornecido pelo Coronel Geraldo Mendes GUTIAN, atual professor da cadeira de administração da AMAN, além de site escolares que tratam da história dos explosivos.

Foram utilizados banco de dados eletrônico, onde foram pesquisados sites e artigos relacionados ao tema, os quais tratavam da história dos explosivos e relatavam fatos importantes sobre seu desenvolvimento e também ressaltavam as principais imagens que fizeram parte da evolução dos explosivos ao longo da evolução da humanidade.

O trabalho de conclusão de curso “Análise direta de vestígios de explosivos empregando espectroscopia vibracional: Uma proposta de auxílio à perícia”, do Sr. Adão Edson de Barcelos Junior, apresentado ao Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, em conjunto com o manual, “Explosivo e Explosivos iniciais”, do prof. Dr. U. Kant, manual de fabricação de explosivos da IMBEL, além do livro “The Chemistry of Powder and Explosives”, de Tenney L. Davis, as instruções ministradas pelo departamento de Engenharia de Minas e Petróleo (PMI-3101 Introdução à Engenharia para a Indústria Mineral, ministrada em 02/05/2016), o documento “Encyclopedia of Explosives and Related Items”, fornecido pelo US Army RDECOM-ARDEC, Attn: AMSRD-AAR-MEE ltr dtd 16 Apr 2009 e o arquivo “Explosivos”, disponibilizado pela Unesp (Universidade Estadual de São Paulo), foram todos utilizados para, de modo geral, fazer a exposição, o esclarecimento, uma diferenciação e uma exemplificação das classificações e das propriedades dos explosivos que serão tratados no decorrer desse trabalho.

O manual escolar “Explosivos e destruições - Versão 23 Jan 08” e o manual “fm5-250(92) EXPLOSIONS & DEMOLITION” foram utilizados para tratar dos antecedentes da pesquisa, ou seja apresentar o problema que foi levantando pelo escopo deste trabalho, além de complementar e ratificar dados referentes as propriedades dos explosivos descritas neste artigo. Vale ressaltar que em ambos os manuais é apresentada a fórmula do cálculo de explosivos para abertura de crateras uma vez que o primeiro foi, basicamente a tradução do segundo, na questão do assunto abertura de crateras.

2.2 Referencial metodológico e procedimentos

Visando buscar as origens do cálculo no qual se baseia a execução da abertura de crateras por meio da utilização de explosivos, buscamos investigar as informações padronizadas pelo manual de explosivos utilizado como meio auxiliar de instrução na Academia Militar das Agulhas negras (AMAN), que é utilizado no segundo ano da academia, mais especificamente pelo curso de engenharia, que descreve uma série de valores pré-determinados que devem ser utilizados para a aplicação de explosivos nessa atividade de campanha específica.

Partimos da hipótese de que esses valores estariam corretos e bastaria buscar a origem para definirmos e ratificarmos que essas padronizações são suficientes para definir o bom desempenho da abertura de crateras por meio de explosivos.

Logo, verificamos que as padronizações foram obtidas de um manual norte americano de fontes restritas, o fm5-250(92) EXPLOSIONS & DEMOLITION, diante desse fato, tentamos buscar fontes das quais poderiam ser tirados valores semelhantes aos resultados obtidos por esse manual, mas nada tão específico foi encontrado.

Nossos objetivos passaram a ser esclarecer a proposta de padronização do manual e buscar estudos que validassem essa aplicação no território nacional, contudo não existem pesquisas brasileiras voltadas para tal área.

Visamos, então, especificamente a avaliação do cálculo utilizado para definir a quantidade de explosivo necessário para a execução de um serviço de abertura de cratera. E frente a essa pesquisa foram percebidas uma série de deficiências apresentadas pela fórmula que define essa quantidade de explosivos.

Paralelo a isso buscamos avaliar os fatores externos ao cálculo em si, que poderiam interferir no desempenho e na utilização de determinados explosivos nessa atividade, percebendo assim outra pendência das padronizações oferecidas pelo manual escolar.

Por fim tratamos de um fator de grande relevância, que sempre deve ser levado em consideração ao trabalharmos com explosivos, que é o efeito relativo. O efeito relativo é uma propriedade que define um comparativo entre os explosivos quanto a certas características e quanto ao desempenho dos explosivos, novamente fator ignorado para o cálculo tratado nesse trabalho.

Adotamos como objetos de pesquisa dados de fontes bibliográficas para comprovar a necessidade de um início de pesquisas voltadas para essa área que comprovaram que o Brasil não possui grandes fontes de pesquisa em explosivos em atividades de campanha. A observação de uma confirmação empírica não foi possível devido a impossibilidade de serem feitos testes suficientes para comprovar as pendências da fórmula, contudo diante dos dados obtidos na pesquisa teórica confrontamos os resultados com a teoria estudada na revisão da literatura.

3 EXPLOSIVOS

3.1 Definição

Os explosivos, ou agentes explosivos, podem ser descritos, de acordo com Dobratz (1972), como compostos ou misturas, metaestáveis, que reagem rapidamente gerando produtos gasosos em alta temperatura e alta pressão e, conseqüentemente, um grande deslocamento de massa de ar. Os explosivos podem ser divididos em dois tipos principais, os explosivos primários e os alto-explosivos.

Os explosivos primários podem ser facilmente iniciados por choque ou calor, já os alto-explosivos, diferentemente dos primários, necessitam de uma onda de choque considerável para iniciar, cargas não confinadas geralmente não detonam e a ignição eletroestática é extremamente difícil (DOBRATZ, 1972).

3.2 História da criação dos explosivos

Segundo o Portal São Francisco (2018), os explosivos são atualmente uma ferramenta poderosa que, dependendo de sua composição, pode realizar ações catastróficas com quantidades ínfimas. Para podermos estudar sua composição, seu emprego, suas necessidades e potencialidades, precisamos primeiramente entender sua origem e discorrer sobre sua trajetória até os mais avançados tipos e variações de artefatos que possuímos hoje. Mas antes de falar dos explosivos falaremos de um elemento essencial na composição dos primeiros artefatos criados pelo homem, a pólvora.



Figura 1: Pólvora negra
Fonte: Portal São Francisco, 2018.

Por volta de 200 a.C. foi o período cujos primeiros registros permitem dizer que a pólvora surgiu na humanidade. Mas, mesmo sua história sendo incerta, é evidente que a pólvora foi definitivamente o primeiro elemento explosivo feito de forma manipulada pelo homem. Sua criação, no entanto, não pode ser considerada proposital. Os primeiros relatos de sua formulação provem da China.

Era comum na cultura chinesa a busca de elementos chamados “panaceias divinas” ou “elixir da imortalidade”. A obtenção destes elementos era feita por alquimistas que faziam sua formulação baseada na mistura de minérios e que dependiam de diversas tentativas para produzir tal elemento. Durante seus experimentos os alquimistas chineses acabaram por fazer uma mistura de salitre, enxofre e carvão de madeira, que, na correta proporção, acabou por gerar a pólvora antiga, chamada por seus criadores de “remédio do fogo” (FERNANDES, 2018).

Outro fator que impede a precisa determinação momento da criação da pólvora é o fato dos alquimistas chineses considerarem que seu trabalho deveria ser sigilo e restrito apenas a sua classe, logo o primeiro uso da pólvora não nos dá a precisão para definirmos a data exata de sua criação (FERNANDES, 2018).

De acordo com o Portal São Francisco (2018), mesmo sendo clara a imprecisão da data exata fica, a partir dos fatos relatados, evidenciada que a pólvora foi realmente a primeira ferramenta de ação explosiva manipulada, confeccionada e utilizada pela humanidade.

Descoberta essa mistura, outras ferramentas foram surgindo naturalmente por meio do seu uso. Sua utilidade, inicialmente, era o emprego em fogos de artifício, espetáculos e para subsistência e, apenas no início do século XIV, por meio do frade alemão Berthold Schwarz,

foi desenvolvida a primeira arma de fogo a base de pólvora iniciando assim a inclusão dos explosivos no histórico bélico da humanidade. A partir desse momento os estudos para desenvolver novos elementos explosivos se intensificaram (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2018).

Seguido do canhão, armamento criado por Schwarz (mencionado anteriormente), outras inovações surgiram, exemplo dessas inovações é a substituição da pólvora pulverulenta pela pólvora granulada em 1425.

Mais adiante, em meados do século XIX, uma série de novos explosivos veio a surgir por consequência de avanços na área da química, mais precisamente da química orgânica. Vale citar, primeiramente, a nitrocelulose que consiste de um polímero natural com características explosivas, na qual sua capacidade se baseia na quantidade de nitrogênios presentes em sua fórmula. Esse polímero surgiu em 1846 e abriu as portas para que o italiano Ascanio Sobrero, em 1847, desenvolvesse a nitroglicerina que, devido ao seu estado líquido e sua grande instabilidade, foi muito pouco utilizada pela grande frequência de acidentes e a gravidade dos mesmos (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2018).

Segundo Fogaça (2015), dando sequência a essa evolução, em 1867, surge a figura de Alfred Bernhard Nobel. Homem obstinado a estudar e desenvolver técnicas para produzir, em escala industrial, a nitroglicerina. Por consequência desse fato, nesse ano, Alfred Nobel desenvolve um composto de 75% de nitroglicerina e 25% de terra diatomácea, esse composto foi denominado dinamite e daí por diante fez seu nome se destacar no estudo de diversos modos de se misturar a nitroglicerina a outros elementos para mitigar os riscos do seu manuseio.

Mas Nobel não se limitou apenas a esse produto em 1875, inventou também a gelatina explosiva e a dinamite gelatina, que são, respectivamente, uma dissolução de 7 a 8% de colódio em nitroglicerina e a adição de alguns solventes (acetona ou éter-álcool por exemplo), para a dinamite gelatina (FOGAÇA, 2015).

Seguindo a sequência histórica do trabalho referenciado acima, entra no curso do estudo sobre explosivos um elemento importante para o escopo desse artigo, em 1879, quando foi aplicada na fórmula da dinamite gelatina o nitrato de amônio, estudos feitos por dois pesquisadores suecos e pesquisas das quais Nobel adquiriria posteriormente, consistia em colocar uma porção de 23 a 62% de nitrato de amônio na fórmula dessa dinamite. Em 1888, Nobel, dando sequência a seus estudos, desenvolveu e patenteou também a pólvora sem fumaça que seria chamada também de balistite, mistura que viria a permitir a criação do cordite, na Inglaterra (FOGAÇA, 2015).

Quando falamos do nitrato de amônio (NA) vale ressaltar que, apesar de sua primeira aplicação como ingrediente de um agente explosivo ter sido em 1879, o NA já havia sido sintetizado quase duzentos anos antes, como descreve Munaretti (2002). Como citado pelo engenheiro, foi em 1659 que J. R. Glauber realizou a combinação de ácido nítrico e carbonato de amônio que teriam como produto o NA, agente esse que durante todo século XVIII e quase todo o século XIX teria aplicação apenas medicinal. E que posteriormente seria usado como fertilizante, culminando assim na sua aplicabilidade como ingrediente explosivo apenas em torno de 1870 quando Nobel optou por comprar a patente do nitrato de amônio empregado como explosivo.

Dando sequência em seus estudos, Charles Munroe inicia, em 1915, suas pesquisas na área das dinamites glicerizadas e, em 1922, começa a trabalhar com a explosividade do NA. Na mesma época, em East Alton, cidade do estado de Illinois EUA, surge a figura de Fredrich Olsen, notável pesquisador que teve um importante papel no desenvolvimento da área bélica ao desenvolver acidentalmente, após quase 30 anos de pesquisas, uma maneira de se produzir a pólvora esférica, utilizada até os dias de hoje (FOGAÇA, 2015).

Eventos na história foram cruciais para o desenvolvimento dos estudos, na concepção bélica, dos explosivos.

Daí em diante o estudo dos explosivos se tornou uma arte, intensificado a partir de 1945 com a primeira guerra mundial, os explosivos passaram a ser usados de diversas formas diferentes, com a invenção de granadas, bombas e preparação do terreno para o combate convencional, com sua utilização na abertura de passagens e posteriormente para a criação de fossos anticarros de combate. Prosseguindo com a história uma outra vertente (não bélica) também iniciava seus trabalhos com explosivos, a mineração.

Segundo o site Passei Direto (2018), Em 1958, nasciam as lamas explosivas. Materiais muito utilizados na área da mineração uma vez que apresentam grande grau de ruptura.

Com o tempo e as consequências geradas pelo emprego de explosivos em guerras, principalmente por causa dos riscos gerados pelos explosivos desenvolvidos com base em tecnologia nuclear criados no período das Grandes Guerras, uma série de normas e tratados internacionais foram definidos para o emprego de explosivos de maneira a evitar que acontecessem atrocidades como a explosão da bomba na cidade de Hiroshima, Japão, em 1945 (PASSEI DIRETO, 2018).



Figura 2: Bomba de Hiroshima
Fonte: Nexo Jornal, 2018.

Segundo Barcelos Junior (2017), atualmente, o emprego de explosivos por forças armadas ao redor do mundo tem se limitado, de modo geral ao uso em pequena quantidade para situações cirúrgicas, como por exemplo, a abertura de portas e passagens em missões de busca ou que necessitam adentrar algum espaço isolado.

Claro que atualmente existem elementos que se utilizam dos agentes explosivos para desencadear atos de terror e violência, é o caso dos movimentos extremistas, movimentos esses que utilizam de artefatos explosivos improvisados e agentes suicidas para realizar atos de terrorismo. Contudo não podemos desvalorizar a importância no estudo dessa área, pois o conhecimento aprofundado nos proporciona conhecimento para prever e, quando necessário, saber lidar com esse tipo de situação (BARCELOS JUNIOR, 2017).

3.3 Classificação dos explosivos

Podemos classificar os explosivos de diversas maneiras, os explosivos podem ser classificados quanto a sua aplicação prática, quanto ao seu desempenho, quanto ao ponto de vista químico ou quanto a sua consistência, diante disso retrataremos a seguir, uma explanação sucinta sobre cada classificação:

3.3.1 Classificação baseada na aplicação prática dos explosivos

Com base em Davis (1941), os explosivos podem ser classificados e divididos em três tipos principais: propelente, ou baixo explosivo, explosivo primário, ou iniciador, e o alto explosivo.

Davis (1941) descreve que o propelente é um explosivo que possui em sua composição oxigênio suficiente para sua combustão, contudo essa combustão, por si só, gera apenas a sua queima ao invés de gerar uma explosão. Os propelentes variam muito com relação a sua velocidade de queima de acordo com sua composição química, são exemplos de propelentes a gasolina e a querosene.

O explosivo primário, diferentemente dos propelentes, são os materiais usados para iniciar as cargas explosivas principais, por isso são chamados também de iniciadores. Isso ocorre pois eles diferem dos alto explosivos uma vez que possuem uma maior sensibilidade ao calor e a sua capacidade de brisância (característica dos explosivos que será explicada mais a frente). Exemplos desse tipo de explosivos são Azida de Chumbo e o Fulminato de mercúrio (DAVIS, 1941).

Por fim, os alto explosivos se diferem dos iniciadores devido a sua maior brisância e a energia liberada em sua combustão. Outro fator é o deslocamento de ar gerado em sua detonação que gera um efeito mecânico desastroso em sua área de detonação (Davis, 1941).

Para esclarecer a diferença entre os “alto” explosivos e os “baixo” explosivos podemos colocar em valores reais a diferença entre eles, baseado em Barcelos Junior (2017), na qual o autor especifica claramente as velocidades de detonação e a pressão gerada pela sua reação que são os fatores decisivos para se distinguir esses explosivos. Como bem diz Edson de Barcelos em sua defesa de Mestrado, “Análise direta de vestígios de explosivos empregando espectroscopia vibracional”, os alto explosivos são aqueles que possuem velocidade de reação entre 1500 e 9000 m/s e geram uma pressão maior que 50.000 psi, já os baixo explosivos são aqueles cujas velocidades de reação não atingem 1500 m/s e geram uma pressão de deslocamento de ar menor que 50.000 psi. (BARCELOS JUNIOR, 2017).

3.3.2 Classificação quanto ao desempenho

Os explosivos podem ser divididos em detonantes e deflagrantes. Os explosivos deflagrantes são aqueles que possuem uma capacidade de queima rápida contudo geram uma onda de choque de baixa intensidade (os baixo explosivos). Já os explosivos detonantes, também conhecidos como explosivos de ruptura ou alto explosivos, são aqueles que apresentam uma reação que culmina numa grande onda de choque. (BARCELOS JUNIOR, 2017).

3.3.3 Classificação do ponto de vista químico

Do ponto de vista químico, os explosivos podem ser divididos em três grupos, os simples, os mistos e os compostos. O primeiro grupo consiste naqueles explosivos formados por uma única substância química, exemplos de explosivos simples são: a nitroglicerina ou a nitrocelulose. O segundo grupo representa aqueles que são formados de elementos que, isoladamente, não apresentam características explosivas, um exemplo que está diretamente envolvido com o escopo desse trabalho é o nitrato de amônio que só se torna explosivo se misturado ao óleo diesel. E por fim, mas não menos importante, os compostos que nada mais são que os explosivos simples misturados a elementos capazes de consumir ou produzir oxigênio durante sua reação (BARCELOS JUNIOR, 2017).

3.3.4 Classificação quanto a sua consistência

Quanto a sua consistência os explosivos são novamente divididos em três grupos, o primeiro classifica os explosivos sólidos que são, por exemplos, os explosivos em pó ou aqueles que compõem invólucros recheados com pó explosivo como a dinamite. O segundo são os explosivos plásticos ou semiplásticos, são aqueles explosivos que nas condições ambientes são capazes de serem moldados, como por exemplo, o C4. A última classe é a dos explosivos líquidos, que se beneficiam basicamente em sua facilidade para carregar, exemplo da nitroglicerina (BARCELOS JUNIOR, 2017).

3.4 Propriedades dos explosivos

Existem diversas propriedades explosivas que permitem distinguir cada explosivo, não separadamente, mas o conjunto de suas propriedades permite diferenciar um conjunto de explosivos de outro, bem como analisar as possibilidades de emprego, transporte e armazenamento. Silva (2017) descreve cada uma das propriedades dos explosivos que são a força, a velocidade de detonação, a densidade, a segurança de manuseio, a resistência a água, a sensibilidade, a brisância, o volume de gases gerado/ deslocado em sua transformação, a transformação em gases com toxicidade, a pressão de detonação, a pressão de explosão, a energia absoluta e a energia relativa.

Com o objetivo de trazer mais veracidade as pesquisas utilizadas para descrever tais propriedades foram feitos também comparativos com o manual de produção de explosivos escrito pelo Prof. Dr. U. Kast, oferecido pela fábrica Presidente Vargas, fábrica de explosivos da IMBEL, localizada em Piquete (SILVA, 2017).

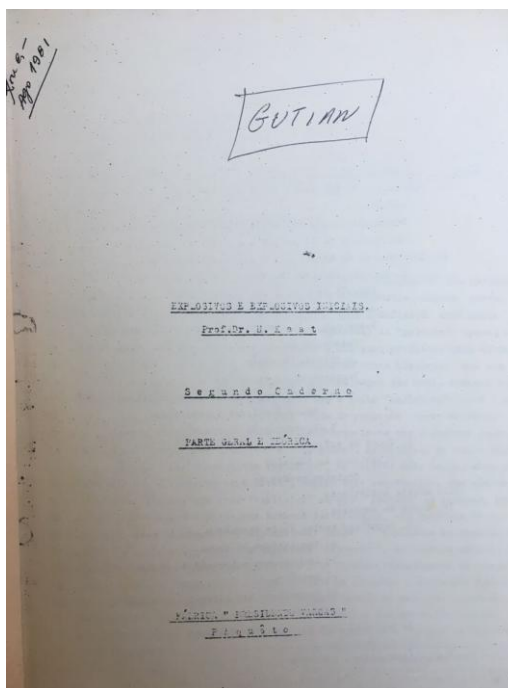


Figura 3: Manual Explosivos e explosivos iniciais
Fonte: Kast, 1981

De acordo com Silva (2017), diante da grande diversidade de propriedades, trataremos a seguir de maneira mais detalhada, apenas daquelas que se fazem mais relevantes para o escopo deste trabalho, que são a velocidade de detonação, a força de explosão, a brisância e a hgroscopicidade. Essas quatro propriedades serão essenciais para o estudo aplicado nesse trabalho.

3.4.1 Velocidade de detonação

Essa propriedade define a rapidez com que um agente explosivo transforma sua potencialidade em energia, ou seja, baseado no tempo que o agente leva para transformar-se completamente em luz, calor e gases, mede portanto o tempo (em m/s) em que essa energia se propaga (SILVA, 2017).

Para exemplificar isso, veremos a velocidade de detonação dos explosivos em geral e alguns explosivos específicos a seguir:

Tabela de comparação de explosivos: tipo x velocidade

Tipo de explosivos	Velocidades de detonação
Explosivos em geral	De 1500 m/s a 7500m/s
Explosivos a base de nitroglicerina	De 4000 m/s a 7500m/s
Explosivos a base de amônia	De 1500 m/s a 3000 m/s

Tabela 1: Explosivos e velocidades de detonação
Fonte: Do autor, 2018.

Diante de uma série de estudos, foi então definido, que aqueles explosivos com velocidades acima de 3000 m/s são considerados explosivos de alta velocidade, já os explosivos com velocidades inferiores a 3000 m/s são considerados explosivos de baixa velocidade (SILVA, 2017).

Vale ressaltar que os dados teóricos obtidos pelos especialistas da fábrica de Piquete chegaram a conclusão teórica de que o Nitrato de Amônio (NH_4NO_3) é uma fórmula proveniente da amônia que pode chegar a uma velocidade de reação de até 5000 m/s. Contudo devido a toxicidade do gás produzido pelo NH_4NO_3 , este não possui viabilidade comercial na área de detonação, logo não está sendo considerado na tabela apresentada imediatamente acima (SILVA, 2017).

Tabela IV.
Continuação.

	Am. de munic. emprego	Valor de Formas para 1 kg. Cl.	Valor de para 1 kg. Cl.	Quantidade de p. p. para 1 kg. Cl.	Temperatura de combustão °C	Velocidade de detonação m/s	Resistência explosiva kg/m ²
1.	1,2	+ 1098,0	665	280	2380	400	2810
2.	1,30	+ 574,0	1025	765	3100	6300	9765
3.	1,30	+ 1101,0	875	720	2260	6800	6900
4.	1,63	+ 25,8	1065	670	3540	7000	9665
5.	1,50	+ 40,6	870	670	2500	6100	7035
6.	1,59	+ 70,5	950	690	2820	6700	8080
7.	1,59	+ 164,0	1010	675	2950	6660	8235
8.	1,69	+ 204,0	1000	675	3230	7100	8950
9.	1,62	+ 251,0	925	675	2700	6850	7595
10.	1,64	- 4,6	1035	675	3450	7100	9545
11.	1,63	+ 23,7	1090	710	3370	7200	9790
12.	1,50	+ 116,0	1455	715	4250	7450	12240 (?)
13.	1,50	+ 1076,0	1090	545	3420	6050	7600
14.	1,63	+ 437,0	1540	710	4300	7800	12265
15.	1,66	+ 792,8	1293	630	3700	6100	9475
16.	1,50	+ 1107,5	347	300	2500	5000	6570
17.	1,3	+ 963,0	930			(estimado)	
18.	1,6	- 553,0	1465	905	2650	4000	9855
19.	1,3	+ 666,0	1185	605	4050 ?	5400	9900
20.	3,5	- 221,5	357	316	4500 ?	3000	6090
					4350 ?	6500	5530
						(estimado)	

A tabela continua na seq. 19

TRABALHO PRODUZIDO. (feito por...)
de rendimento):

Figura 4: Manual Explosivos e explosivos iniciais
Fonte: Kast, 1981

Na imagem acima podemos verificar as velocidades teóricas obtidas pelos especialistas da Fábrica da IMBEL, representas pelos números referenciados no manual, no qual o número “12” representa a nitroglicerina e o número “16” representa o nitrato de amônio.

3.4.2 Força de explosão

Essa propriedade está diretamente ligada a velocidade de detonação, mas ao invés de medir a velocidade mede a quantidade energia produzida na transformação do explosivo em trabalho (SILVA, 2017).

3.4.3 Brisância

Segundo o Manual Escolar Explosivos e Destruições (2008), a brisância é a propriedade do explosivo que define a sua capacidade de fragmentar, por meio da onda de choque, da velocidade de detonação e da pressão gerada pela expansão dos gases os corpos ou massas que se encontram na zona de explosão, ou seja, trata da capacidade de transformar grandes volumes em fragmentos menores. Essa propriedade é essencial para o estudo desse trabalho uma vez que ela é o principal fator estudado na escolha de qualquer explosivo para ações de aberturas de crateras, fragmentações de rochas e atividades em pedreiras. A seguir a imagem de um teste comum para a verificação da capacidade de fragmentação de um explosivo, o teste da caixa de areia. Nesse teste o explosivo acionado transforma os grãos de areia em grãos menores e, a partir da quantidade e do tamanho final de grãos é definida a brisância de um explosivo.

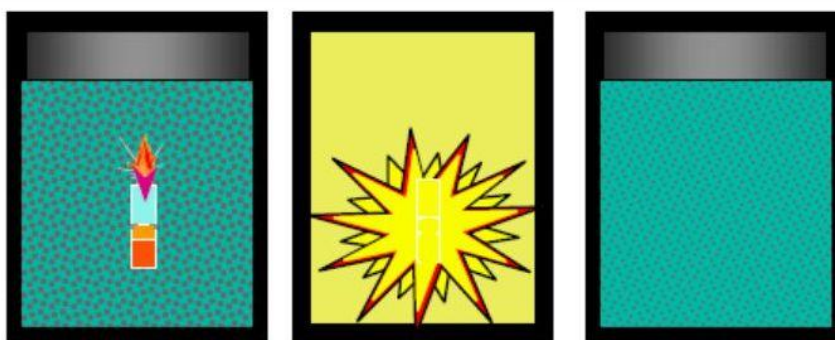


Figura 5: Teste de Brisância: teste da caixa de areia
Fonte: Brasil, 2008.

3.4.4 Higroscopicidade

Para Silva (2017), essa propriedade está diretamente relacionada com o desempenho dos explosivos uma vez que essa propriedade define se o explosivo será 100% eficiente levando em consideração a umidade presente no ambiente em que esse explosivo está sendo empregado. Isso ocorre pois a higroscopicidade trata da capacidade de um explosivo em absorver água reagindo e alterando suas propriedades iniciais e, conseqüentemente, seu rendimento e sua capacidade de detonação. Um bom exemplo de expressão dessa característica é a pólvora negra utilizada em estopins, a alta higroscopicidade desse explosivo faz com que a pólvora exposta perca sua capacidade de acionamento, diante desse fato criou-se o procedimento de, toda vez que formos usar o estopim no acionamento pirotécnico de um

explosivo, devemos cortar aproximadamente 20cm de estopim pois, após estudos, foi definido que é a media de tamanho de estopim que absorve água com o tempo, causando assim falhas frequentes em acionamentos caso esse procedimento não seja seguido.

4 EMPREGO DE EXPLOSIVOS PELO EXÉRCITO BRASILEIRO

Neste capítulo serão apresentados os principais explosivos utilizados pelo Exército Brasileiro (EB) bem como sua aplicabilidade e algumas características relevantes ao trabalho que permitiram analisar e demonstrar a necessidade de modificação de alguns procedimentos adotados pelo Manual Escolar Explosivos e Destruições (2008), utilizado atualmente nas instruções ministradas na Academia Militar das Agulhas Negras aos cadetes do curso de Engenharia.

4.1 Explosivos empregados pelo EB

Baseado no Manual Escolar Explosivos e Destruições (2008), vemos que uma grande variedade de explosivos é empregada atualmente pelas Forças Armadas, mais especificamente pelo EB. Esses explosivos são utilizados nas mais diversas situações e serão apresentados a seguir na seguinte sequência: Amatol, Azida de chumbo, Blade, Compostos (A3, B e B4), Composto C4, Dinamite militar, Fulminato de mercúrio, Nitrato de amônio, PETN (Nitropenta), Pentolite, Plastex, Pólvora negra, RDX, Tetril, Tetritol, TNT.

4.1.1 Amatol

Uma opção que surgiu na intenção de substituir o TNT nas cargas explosivas. Apesar de sua grande durabilidade, ou seja, levar tempo para perder suas características explosivas, é um explosivo muito sensível a água por possuir nitrato de amônio em sua composição. (BRASIL, 2008, p. 15).

4.1.2 Azida de chumbo

Tem por objetivo a fabricação de detonadores e espoletas. Grande resistência contra água, porém, se umedecido, reage com alguns metais (cobre, zinco), tornando essas reações compostos muito sensíveis. Possui grande sensibilidade ao aumento de temperatura. (BRASIL, 2008, p. 15).

4.1.3 Blade

Esse explosivo é moldado dentro de uma capa plástica e com uma forma triangular com o objetivo de direcionar a energia durante sua detonação. Por esse motivo se torna uma excelente opção para atividades de corte de metais e madeiras. Outra vantagem desse explosivo é que seu invólucro possui uma espécie de fita adesiva na parte inferior do material inerte para poder fixar a carga de acordo com a necessidade. (BRASIL, 2008, p. 15).

4.1.4 Compostos A3, B e B4

São normalmente utilizados em cargas de reforço ("*booster*") ou como carga principal de cargas dirigidas ou de "torpedos bangalore" (BRASIL, 2008, p. 15).

4.1.5 Composto C4

Explosivo plástico com grande capacidade de corte, utilizado principalmente em peças metálicas. Isso ocorre devido aos seus altos índices de brisância, plasticidade e velocidade de detonação. Destacam-se como características físicas desse explosivo sua capacidade de ser moldada, a cor branca e por ser inodoro. Vale ressaltar que sua grande resistência a água faz com que seja um dos explosivos de preferência em operações subaquáticas. (BRASIL, 2008, p. 15).

4.1.6 Dinamite militar

Por ser um explosivo de média velocidade de detonação se faz muito útil em atividades de fragmentação de solos, desmontes de rocha ou abertura de crateras. Por esse mesmo motivo não se faz eficiente para serviços mais preciso como corte de peças por exemplo. Por não possuir nitroglicerina em sua composição acaba se tornando mais segura para transporte, armazenagem e manuseio, pois uma vez ausente a nitroglicerina a sensibilidade desse explosivo reduz significativamente tanto para fricção, quanto para impacto e choque. É uma opção para cargas subaquáticas desde que não passe mais de 24 horas submerso. (BRASIL, 2008, p. 16).

4.1.7 Fulminato de mercúrio

Semelhante a Azida de Chumbo, é um explosivo insolúvel na água e quando seco, não ataca os metais, vindo a reagir também com o cobre e o zinco originando compostos sensíveis e perigosos. Sensível. É um explosivo de alto nível de toxicidade fazendo da sua armazenagem uma questão delicada. Por fim, é um alto explosivo eficiente em composições de escorvas e iniciadores. (BRASIL, 2008, p. 16).

4.1.8 Nitrato de amônio

É o menos sensível dos explosivos militares, exigindo uma carga reforçadora para iniciar sua detonação. Devido à sua baixa sensibilidade, é um componente de muitos compostos explosivos (combinado com um de maior sensibilidade explosiva). Não é adequado para corte ou cargas de ruptura porque tem uma baixa velocidade de detonação. No entanto, devido à grande quantidade de gases que libera quando é detonando, é utilizado largamente na abertura de crateras e em desmonte de rochas. Vem normalmente embalado em um recipiente hermeticamente fechado, pois é extremamente higroscópico (absorve umidade).

O Nitrato de amônio ou compostos explosivos contendo nitrato de amônio não são adequados para utilização subaquática, a menos que estejam embalados em invólucros impermeáveis ou sejam detonados imediatamente após sua colocação. Pode ser misturado com óleo diesel, na proporção de 94% de nitrato de amônio para 6% de óleo diesel, formando o explosivo conhecido como ANFO, que pode ser usado, com maior vantagem (a inserção do óleo diesel favorece uma maior produção de gases, pois aproxima o balanço de oxigênio da mistura a zero) como carga para abertura de crateras (BRASIL, 2008, p. 16).

4.1.9 PETN (Nitropenta)

É um explosivo com alta velocidade de detonação por isso esse explosivo é utilizado principalmente em detonadores, cordéis detonantes e espoletas. Outros nomes também reconhecem esse explosivo, pentrita ou tetranitrato de pentaertrita. É comparado, em força, à nitroglicerina e ao RDX. Sendo considerado um dos explosivos mais poderosos utilizados pelo Exército. Apesar de sua grande sensibilidade é insolúvel em água, sendo uma excelente opção em operações subaquáticas. (BRASIL, 2008, p. 16).

4.1.10 Pentolite

Explosivo composto por uma mistura de PETN e TNT, alto explosivo usualmente empregado em detonadores e cargas dirigidas. (BRASIL, 2008, p. 16).

4.1.11 Plastex

Explosivo nacional fabricado pela IMBEL (Indústria de Material Bélico do Brasil), utilizado principalmente em cisalhamento de peças metálicas. É um explosivo plástico, porém não aderente o que faz com que seu emprego necessite de alguns materiais de apoio e suporte para fixá-lo nas peças que sofrerão cisalhamento. (BRASIL, 2008, p. 17).

4.1.12 Pólvora negra

Por ser um baixo explosivo, ou propelente, é utilizado frequentemente em estopins, acendedores e, as vezes, em detonadores. A pólvora negra possui baixa velocidade de queima sendo utilizada nos trabalhos em que não se desejam fortes efeitos de ruptura. É altamente inflamável, contudo por ser altamente higroscópica deve ser utilizada somente em locais secos. (BRASIL, 2008, p. 17).

4.1.13 RDX

Também conhecido como T4, extremamente poderoso mas ao mesmo tempo altamente sensível. Pode ser empregado como reforçador desde que seja dessensibilizado. Normalmente utilizado para a produção dos compostos A, B e C. (BRASIL, 2008, p. 17).

4.1.14 Tetril

Um explosivo relativamente novo que vem substituindo cada vez mais o RDX e o PETN. Por ser mais potente que o TNT é considerado versátil por poder ser aplicado em composições, cargas, espoletas e detonadores, mesmo sendo mais sensível também. (BRASIL, 2008, p. 17).

4.1.15 Tetritol

É um explosivo útil em diversas situações, sendo normalmente comparado frequentemente com o TNT. Muito utilizado em cargas de demolição e em detonadores por ser mais potente e mais brisante que o TNT. (BRASIL, 2008, p. 17).

4.1.16 TNT

O TNT é empregado de diversas maneiras diferentes, porém sua principal aplicação é voltada para a demolição, tanto no meio civil quanto no meio militar. Possui esse nome por causa de sua composição química que se especifica tecnicamente como trinitrotolueno (escrito na antiga norma ortográfica como Tri-Nitro-Tolueno, daí TNT). Alto explosivo de grande potência e alta velocidade de detonação. Não é muito higroscópico e não reage em contato com metais, mesmo se umedecido. Possui temperatura de fundição de 80° C. Pouco sensível ao choque, impacto e à fricção, facilitando assim procedimentos de transporte e armazenagem, contudo o impacto constante, como rajadas diretas de um fuzil podem ocasionar no seu acionamento. Ao entrar em contato com fogo tende a queimar sem acionar, mas se estiver confinado um aglomerado em uma quantidade concentrada pode vir a detonar. Para sua detonação completa necessita de uma energia de ativação mínima, geralmente fornecida por espoletas e “boosters”. Vale ressaltar que os gases gerados por sua detonação possuem certa toxicidade. (BRASIL, 2008, p. 17).

4.2 Explosivos utilizados na abertura de crateras

Agora que temos conhecimento sobre os principais explosivos empregados pela nossa força vamos destacar os explosivos que possuem maior eficiência quando aplicados na execução de crateras.

Segundo o Manual Escolar Explosivos e Destruições (2008), como o próprio manual escolar define, qualquer explosivo pode ser usado para a abertura de crateras, contudo existem alguns explosivos, que serão citados a seguir, que são preferíveis devido a sua capacidade de fragmentação, o que permite ao explosivo transformar a massa densa e continua de terra em pequenos condensados que poderão ser retirados oportunamente.

O primeiro e mais comumente utilizado para essa tarefa é o Nitrato de Amônio. Esse explosivo, apesar de sua baixa velocidade de detonação e sua alta higroscopicidade (fatores que prejudicam sua aplicabilidade no terreno) o NH_4NO_3 , ao detonar, produz uma grande quantidade de gases, fator esse que possibilita a ruptura da terra e de rochas em pequenos fragmentos, essa ruptura é justamente a consequência da propriedade explosiva conhecida como brisância. Devemos observar que, por definição, a brisância, esta diretamente relacionada com dois aspectos, o volume de gases gerado na detonação (aspecto natural da reação do Nitrato de Amônio) e a velocidade de detonação (baixa nesse explosivo). Diante dessa análise é gerada a dúvida de o porquê esse nitrato é tão eficiente. Isso acontece pois, como mencionado na definição desse explosivo oferecida anteriormente, esse explosivo é formado por muitos compostos explosivos e, como expresso em sua fórmula, rico em oxigênio, fatores esses que fazem a sua reação produzir gases suficientes ao ponto de compensarem sua baixa velocidade de detonação (BRASIL, 2008).

Outro explosivo empregado nessa atividade é a dinamite militar, apesar de não ser tão eficiente quanto o nitrato de amônio, é empregado nessa atividade devido a sua vantagem diante desse explosivo. A dinamite militar, comparada ao nitrato de amônio é altamente estável podendo ser empregado com mais flexibilidade, em terrenos com maior umidade, por exemplo, devido a sua baixa higroscopicidade (BRASIL, 2008).

Além desses dois explosivos, não podemos deixar de citar o TNT, devido a sua facilidade de obtenção e por ser o explosivo mais comum empregado pelo exército, sua disponibilidade passa a se tornar fator determinante para o emprego nas mais diversas atividades nas quais os explosivos são utilizados, incluindo a abertura de crateras (BRASIL, 2008).

4.3 Cálculos para abertura de crateras

Segundo o Manual Escolar Explosivos e Destruições (2008), o cálculo para abertura de cratera de uma cratera não consiste exatamente em calcular a quantidade de explosivo necessária para se realizar a abertura de uma cratera em si, mas sim na quantidade de forninhos necessários para criar uma cratera de tamanho pré-definido.

Para calcular a quantidade e a distribuição desses forninhos, uma série de padronizações que são adotadas pelo manual escolar. Essas padronizações são:

NF = número de furos.

L = largura total da estrada, em metros, considerando talude e acostamento (largura de destruição).

5 = considera-se uma margem de 2,5 m de cada lado.

1,5 = espaçamento entre os furos.

1 = fator para converter espaço em furos.

(b) Número de espaçamentos entre os furos: $NE = NF - 1$.

(c) Distância entre os furos: 1,5 m.

(d) Profundidade dos furos: alternadamente, 2,1 m e 1,5 m.

(e) Furos externos: sempre de 2,1 m.

Diante dessas padronizações, calculamos o número de furos (fornilhos) da seguinte forma:

$$NF = \frac{(L-5)}{1,5} + 1$$

1,5

(BRASIL, 2008, p. 167)

Após definido o número de fornilhos, é então feita a divisão de quais fornilhos serão de 2,1m e quais serão de 1,5m de profundidade. A seguir, por definição do manual, os fornilhos mais profundos devem ser preenchido com 36kg de Nitrato de Amônio e 18kg de TNT e os mais rasos com 18kg de Nitrato de Amônio e 10kg de TNT (BRASIL, 2008).

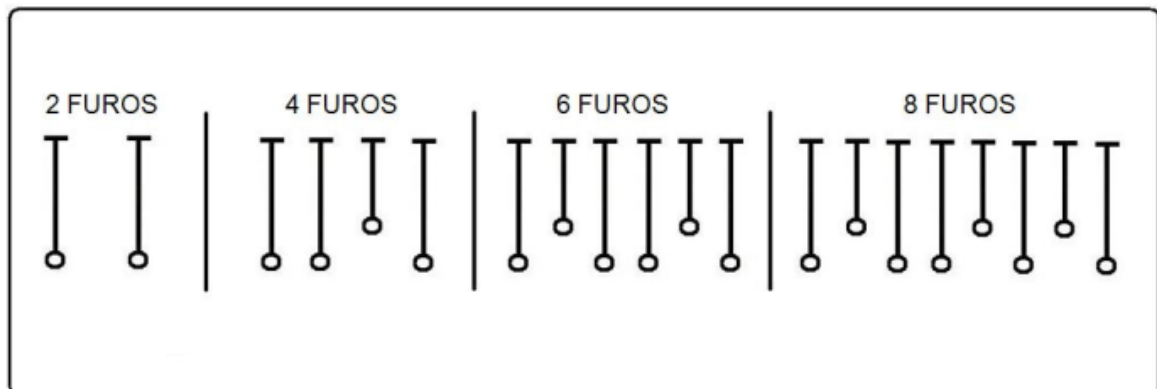


Figura 6: Exemplo de fornilhos para crateras de tamanhos diversos
Fonte: Brasil, 2008.

4.4 Peculiaridades de uma cratera rápida

Para realizar o cálculo do número de fornilhos de uma cratera rápida usamos a mesma equação apresentada anteriormente, contudo não a distinção de profundidade entre os fornilhos, ou seja, todos eles devem ter a mesma profundidade (mínimo de 1,5m).

Outra diferença está na quantidade e no tipo de explosivo aplicado em cada forninho, baseado no Escolar Explosivos e Destruições (2008), define que, cada furo deve ter um mínimo de 18kg de Nitrato de Amônio e que a quantidade de explosivo em cada furo seja o equivalente a 15kg de explosivo por metro de profundidade, logo o que faltasse de explosivo para alcançar essa proporção poderia ser preenchido com qualquer explosivo.

Por fim, para calcular as dimensões da cratera rápida o manual escolar disponibiliza o seguinte cálculo:

- a) Comprimento: $5 \times P$ (P = Profundidade dos furos);
 - b) Profundidade: $1,25 P$ (P = Profundidade dos furos);
 - c) Largura: distância entre os furos extremos mais 5,0 m (2,5 m para cada lado)
- (BRASIL, 2008, p. 169).

4.5 Fatores que influenciam na aplicação de explosivos para abertura de crateras rápidas

Segundo o Manual Escolar Explosivos e Destruições (2008), existem diversos fatores que interferem na abertura de uma cratera rápida, dentro desses falaremos principalmente daqueles que remetem aos motivos que são determinantes para se escolher os explosivos que serão utilizados nessa atividade.

O primeiro aspecto é a questão situacional. A cratera rápida é feita em uma situação em que não há muito tempo para uma execução precisa de outros meios, ou seja, a cratera rápida é uma opção para quando o tempo não está a favor da tropa ou então quando é descoberta, oportunamente, uma rota crítica ao inimigo em uma zona não segura (BRASIL, 2008).

O segundo aspecto é a questão de disponibilidade. Este aspecto está diretamente relacionado com o anterior. Diante de uma situação vantajosa, que surge oportunamente, cabe ao militar responsável cumprir a missão com o material que está disponível no momento fazendo com que a execução desse obstáculo tenha o valor estratégico que o referencia. Portanto o fato do militar não possuir um determinado explosivo não pode ser o fator decisivo para o cumprimento da missão (BRASIL, 2008).

Para concluir falaremos do fator meteorológico e das características do meio ambiente. Esses dois fatores são cruciais para o emprego dos explosivos, pois eles podem ser a diferença entre o bom cumprimento da missão e a falha total da operação. O Nitrato de Amônio, explosivo mais eficiente na abertura de crateras, é um explosivo extremamente higroscópico,

ou seja, utilizá-lo em ambientes de grande umidade, solo lamoso ou em locais de intensas chuvas pode prejudicar seu desempenho e culminar no não cumprimento da missão. O extremo oposto também se faz um problema, locais muito secos, com solos de alta dureza podem ser negativos no preparativo da carga, uma vez que o solo pode gerar atrasos na perfuração dos fornos e a resistência do solo pode fazer com que o explosivo não atinja os objetivos previstos e não fragmente o solo o suficiente para que as partículas sejam suficientemente pequenas para serem removidas (BRASIL, 2008).

5 ANÁLISE DOS DADOS E EXPOSIÇÃO DOS FATOS

Ao buscarmos as origens do cálculo de explosivos para abertura de crateras rápidas vemos que o cálculo bem como as proporções definidas para a execução dessa atividade vem de um manual norte americano produzido pelo Departamento das forças armadas americanas no ano de 1992, denominado “FM 5-250 Explosives and Demolitions” de onde as proporções e padronizações foram simplesmente traduzidas como será mostrado a seguir.

Load the boreholes with 10 pounds of explosive per foot of borehole depth. When using standard cratering charges, supplement each charge with additional explosives to obtain the required amount. For example, a 6-foot hole would require one 40-pound cratering charge and 20 pounds of TNT or C4. (FM 5-250 Explosives and Demolitions, p. 3-22)

Colocar uma lata de nitrato de amônio (18 kg) em cada buraco, suplementando cada carga com uma quantidade adicional de explosivo (pode ser pólvora negra ou TNT), até obter uma taxa de 15 kg de explosivo por metro de profundidade do orifício. Admite-se colocar outros tipos de explosivos nos furos, porém deve seguir a mesma taxa de carregamento: 15 kg por metro de profundidade (BRASIL, 2008, p. 170).

O cálculo de abertura de crateras define bem a aplicação dos explosivos para tal atividade, contudo se limita em certos aspectos relevantes para a avaliação situacional na qual explosivo será empregado, deixando de lado uma série de fatores. No cálculo que é fornecido pelo manual escolar não tratamos exclusivamente da quantidade de fornilhos e na quantidade de explosivos por fornilho, sem levar em consideração certas circunstâncias.

Após os estudos e as experiências de campo oferecidas pela AMAN, principalmente durante a Operação Quebra Canela, realizada no segundo ano de formação do Oficial do Curso de Engenharia desta academia, fica claro que certos fatores como a resistência do solo, fatores meteorológicos, fatores econômicos e a propriedade conhecida como Efeito Relativo, são deixados de lado e podem gerar consequências positivas para a aplicabilidade dos explosivos nesse tipo de atividade, como será esclarecido a seguir.

Primeiramente trataremos da questão dos fatores meteorológicos. Ao tratarmos desse aspecto devemos levar em consideração, não apenas o clima em si, também as características do ambiente no qual o explosivo será aplicado. O ambiente pode se diferenciar de diversas maneiras, como por exemplo, umidade do solo (ou do ambiente), capacidade de fragmentação desse solo, eficiência do explosivo de acordo com a finalidade (abrir ou fragmentar o solo), se

existem árvores (flora em geral), que dificultariam a fragmentação, se o solo é arenoso, entre outros.

Em seguida, outro fator externo a fórmula utilizada para calcular a quantidade de explosivos, mas que também é de extrema importância é a questão da influência econômica para as Forças Armadas, cada explosivo se difere com relação ao custo de compra, tipo de armazenagem, necessidade de preparo do paiol e tempo em que o explosivo pode ficar armazenado antes de se deteriorar, por exemplo.

Por fim, mas não menos importante, sabemos que a maioria dos cálculos que tratam de explosivos diversos se baseia no TNT. Esse explosivo é geralmente utilizado como referência para se calcular a quantidade de explosivo que será empregado numa atividade se ajustando essa quantidade por meio do Efeito Relativo, ou seja, o cálculo de uma atividade e feito como se fosse aplicado o TNT nesta atividade e, por meio dessa propriedade, seria definido quanto de qualquer outro explosivo seria utilizado para obter o mesmo resultado. Contudo ao que indica as fórmulas de cálculo de carga para abertura de crateras, o explosivo base é o Nitrato de Amônio, porém nada se define no manual quanto a isso. Outro problema apresentado pelo manual é que independente da referência que tomamos para realizar os cálculos, Manual Escolar Explosivos e Destruições (2008), diz que se os 18kg de nitrato de amônio, previstos como mínimo, não forem suficientes para completar a proporção de 15kg por metro de profundidade dos fornilhos, qualquer explosivo pode ser colocado para completar essa proporção, não fazendo distinção de força de detonação, capacidade de fragmentação ou qualquer outra propriedade que diferencia os explosivos tratando-os assim como iguais.

CONCLUSÃO

Nossa pesquisa teve como objetivos tratar da história dos explosivos, da sua aplicação pelas forças armadas, de avaliar o cálculo de explosivos aplicados na abertura de crateras rápidas, das deficiências percebidas nesse cálculo e nas consequências de desempenho e de custos que a má aplicação dos explosivos pode trazer ao Exército Brasileiro.

Apesar da impossibilidade de serem realizados testes que trouxessem mais veracidade as questões apresentadas no trabalho, os resultados encontrados foram satisfatórios para evidenciar a necessidade de um estudo, por parte das Forças Armadas, mais detalhado sobre o emprego de explosivos para ações de abertura de crateras e seu emprego em atividades semelhantes a essa, como por exemplo, as atividades de construções na qual a engenharia emprega o uso de explosivos, por exemplo.

Dentro dessa perspectiva, podemos destacar que cabe ao exército intensificar as atividades voltadas aos estudos na área de explosivos e nas suas modalidades de emprego com o objetivo de trazer maior conhecimento e um rendimento melhor na aplicação desse material frente às conjunturas atuais nas quais os recursos disponibilizados estão cada vez mais escassos.

Diante desta situação devemos atentar também para a necessidade de um desenvolvimento nacional de conhecimento uma vez que atualmente, salvo melhor juízo, não são executadas pesquisas na área de explosivos. Portanto passamos a utilizar apenas de conhecimentos obtidos de outros países e outras forças, ou seja, que foram estudados e desenvolvidos voltados para regiões com características diferentes das existentes no território nacional.

Por fim, a nossa hipótese de pesquisa foi satisfatória em apresentar a necessidade de um estudo aprofundado na área dos explosivos uma vez que o Exército Brasileiro não possui nenhum centro de pesquisa voltado especificamente para a aplicação de explosivos em atividades de campanha e também não trata da proporcionalidade e da relatividade dos explosivos quando aplicados em ações de aberturas de crateras.

Os resultados alcançados nesta pesquisa mostram então que o cálculo utilizado para definir a quantidade de explosivo se faz ineficiente e obsoleto, frente a necessidade e a variedade de agentes explosivos existentes atualmente.

Concluimos então que se faz necessário um estudo e a reformulação do cálculo de explosivos para abertura de crateras, levando em consideração os aspectos apresentados no

decorrer desse trabalho que estão atualmente ausentes na aplicação de explosivos para esse tipo de trabalho além de outros aspectos que possam surgir no decorrer dessas pesquisas.

No decorrer da pesquisa, deparamo-nos com um tema de grande interesse, mas que fugiu ao recorte adotado nesta pesquisa: O estudo e a aplicabilidade dessas pesquisas no emprego de explosivos para o desmonte de pedreiras utilizadas pela arma de Engenharia quando empregada como engenharia de construção.

Por fim, fica evidente que o nosso exército apresenta uma deficiência no estudo de explosivos e na sua aplicabilidade em missões de grande porte. Diante dessa necessidade, apresentada e claramente justificada pela defasagem verificada pelo estudo desse cálculo, levando em consideração a quantidade e da especificidade de explosivos a serem aplicados na abertura de crateras, deixando claro que pesquisas precisam ser desenvolvidas com o objetivo de promover maiores conhecimentos e melhores rendimentos no uso de explosivos pelo nosso exército.

REFERÊNCIAS

BARCELOS JUNIOR, A. D. **Análise direta de vestígios de explosivos empregando espectroscopia vibracional**: uma proposta de auxílio à perícia, 2017. Disponível em: <www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/SFSA-AL5L8T/ad_o_edson_de_barcelos_j_nior_disserta_o_de_mestrado.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 jun. 2018.

BRASIL. **Manual Escolar Explosivos e Destruições**. Brasília: Exército Brasileiro, 2008.

DAVIS, T. L. **The chemistry of powder and explosives**. Disponível em: <drive.google.com/file/d/1-Vs9BA9wdA16sc2dfoucDE27iIG19Vve/view>. Acesso em: 10. Jun. 2018.

DOB RATZ, B. M. **Properties of chemical explosives and explosive stimulants**. Disponível em: <drive.google.com/file/d/1RfYi248vNJSx3uCLgR_99YSm6c6CAK44/view>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FM 5250. **Field Manual**. Disponível em: <drive.google.com/file/d/1XtysmlLSCREU0FyJ6Jvm2mXOF17k6gKN/view>. Acesso em: 10. Jun. 2018.

FOGAÇA, J. R. V. **Constituição química e história dos explosivos**. Disponível em: <www.mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/constituicao-quimica-historia-dos-explosivos.htm>. Acesso em: 11 jun. 2018.

PASSEI DIRETO. **Explosivos mineração**. Disponível em: <www.passeidireto.com/arquivo/22481989/explosivos-mineracao>. Acesso em: 12 jun. 2018.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Pólvora**. Disponível em: <www.portalsaofrancisco.com.br/curiosidades/polvora>.

SILVA, A. L. M. A. **Explosivos**. Disponível em: <www.unesp.br/Home/crh/explosivos.doc>. Acesso em: 10 jun. 2018.

UNESP. **Explosivos**. Disponível em: <www.unesp.br/Home/crh/explosivos.doc>. Acesso em: 10 jun. 2018.