

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

GUSTAVO HENRIQUE SOUZA DE HOLLANDA CAVALCANTI

ESTUDOS CONCEITUAIS E OPERACIONAIS ACERCA DO USO DE EXPLOSIVOS
NA DEMOLIÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

RECIFE

2017

GUSTAVO HENRIQUE SOUZA DE HOLLANDA CAVALCANTI

ESTUDOS CONCEITUAIS E OPERACIONAIS ACERCA DO USO DE EXPLOSIVOS
NA DEMOLIÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Dissertação submetida ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia.

Área de concentração: Minerais Industriais

Orientador: Prof. Dr. Carlos Magno Muniz e Silva

RECIFE

2017

C376e Cavalcanti, Gustavo Henrique Souza de Hollanda.

Estudos conceituais e operacionais acerca do uso de explosivos na demolição de estruturas de concreto armado / Gustavo Henrique Souza de Hollanda Cavalcanti. - 2017.

90 folhas, il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Magno Muniz e Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2017.

Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Mineral. 2. Demolição de estruturas. 3. Explosivos. 4. Análise estrutural. 5. Colapso progressivo. I. Silva, Carlos Magno Muniz e (Orientador).
II. Título.

UFPE

622.35 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-09



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

TÍTULO

**“ESTUDOS CONCEITUAIS E OPERACIONAIS ACERCA DO USO DE
EXPLOSIVOS NA DEMOLIÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO”,**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Minerais Industriais

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência
do **Prof. CARLOS MAGNO MUNIZ E SILVA**. Considera o aluno

GUSTAVO HENRIQUE SOUZA DE HOLLANDA. CAVALCANTI, Aprovado.

Recife, 10 de agosto de 2017.

Prof. Dr. CARLOS MAGNO MUNIZ E SILVA
- Orientador - (UFPE)

Prof. Dr. MÁRCIO LUIZ DE SIQUEIRA CAMPOS BARROS
- Examinador Interno - (UFPE)

Prof. Dr. PABLO ANÍBAL LOPEZ YANEZ
- Examinador Externo - (UFPE)

Dedicado às minhas filhas Sophia e
Sarah (que ainda vai nascer).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, criador de todas as coisas...

Aos meus pais, Henrique Aguiar e Suely Souza, pelo amor, pela educação, pelos cuidados, e por terem sido exigentes quando foi necessário. Ao meu irmão Augusto César, pelo companheirismo e amizade verdadeira. À minha esposa Aliana, pela paciência, cumplicidade e ajuda no dia a dia.

Ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Carlos Magno Muniz e Silva, por quem tenho profundo respeito.

Ao meu co-orientador, Professor Dr. Pablo Aníbal Lopez-Yanez, pela sugestão em relação à substituição do tema anterior pelo atual.

Sou grato aos amigos Eng. de Minas Paulo Couceiro, pela ajuda com a bibliografia e ao Eng. Civil Marcelo Ribeiro, pelo interesse e boa vontade em discutir a respeito do tema. Também sou grato ao Eng. Mecânico Marcus Carvalho Vilela, pela contribuição com os relatos de sua experiência prática.

À empresa DETEX, pelo fornecimento de documentos importantes no enriquecimento do trabalho.

À banca examinadora, pela contribuição intelectual.

Aos colegas e professores do PPGEMinas/UFPE, pela convivência acadêmica.

Ao Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, funcionários e colaboradores.

Obrigado!

RESUMO

Em todo o mundo, cresce vertiginosamente o número de estruturas de concreto armado cujo período de vida útil está chegando ao fim, assim como a necessidade de readequação da estrutura urbana das grandes cidades. Dessa forma, a atividade de demolição vai adquirindo um peso cada vez maior, dando origem a um tipo específico de serviços altamente especializados: a demolição de estruturas com o uso de explosivos. No entanto, pelas próprias características intrínsecas ao tema, esse tipo de serviço é sempre delicado e de muita responsabilidade, o que torna necessário o frequente estudo dos conceitos e das técnicas utilizadas, no intuito de haver um aprimoramento constante dos procedimentos operacionais. Nesse sentido, esta pesquisa buscou identificar os principais conceitos, procedimentos, parâmetros e condicionantes básicos referentes ao uso de explosivos na demolição de estruturas de concreto armado, passando por uma revisão bibliográfica detalhada sobre o tema. Além disso, acrescenta-se à revisão do tema, um resumo dos procedimentos legais para a obtenção dos documentos necessários a execução desse tipo de obra no Brasil. E também, uma simulação computacional onde se propõe o uso de softwares de análise estrutural por meio de elementos finitos, no intuito de se obter, com mais precisão, a localização dos pontos mais adequados para alocação das cargas explosivas, na estrutura de concreto armado que se pretende demolir.

Palavras-chave: Demolição de estruturas. Explosivos. Análise estrutural. Colapso progressivo.

ABSTRACT

Across the world, the number of reinforced concrete structures whose useful life is nearing its end has increased dramatically, as has the need to readjust the urban structure of large cities. In this way, the demolition activity is acquiring an increasing relevance, giving rise to a specific type of highly specialized services, the demolition of structures with the use of explosives. However, due to the characteristics intrinsic to the theme, this kind of service is always delicate and require a plenty of responsibility, which makes it necessary to study frequently the concepts and techniques used, in order to have a constant improvement of the operational procedures. In this sense, this research sought to identify the main concepts, procedures, parameters and basic conditions related to the use of explosives in the demolition of reinforced concrete structures, through a detailed bibliographic review on the subject. Furthermore, the text presents too, a summary of legal procedures, in order to obtain the necessary documents for the execution of this type of work in Brazil. It is also made a computational simulation, where is proposed the use of structural analysis software using finite elements, in order to obtain, with more precision, the location of the most suitable points for the placement of explosive charges in the reinforced concrete structure that will be demolished.

Keywords: Building demolitions. Explosives. Structural analysis. Progressive collapse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - À esquerda, foto da cidade de Varsóvia na Polônia destruída durante a 2ª Guerra Mundial e à direita o mesmo local da cidade, já reconstruído.	13
Figura 2 - Implosão do Edifício Mendes Caldeira, São Paulo, 1975.	13
Figura 3 - Concreto simples e seus elementos constituintes (Bastos, 2006).	20
Figura 4 - Clínquer produzido pela Fábrica de Cimentos Intercement, em São Miguel dos Campos – AL (Brancão, 2011).	21
Figura 5 - Ensaio de resistência a compressão em corpos de prova (LABMATEC – UNIVASF, 2016).	23
Figura 6 - Esquema mostrando a atuação dos esforços de tração e compressão (Bento, 2003).	23
Figura 7 - Estrutura de concreto armado, com seus principais elementos estruturais em destaque.	25
Figura 8 - Colapso de uma ponte composta de vigas sobre apoios simples durante o terremoto de 1964 ocorrido em Niigata, Japão, (Kenneth et al, 2009).	28
Figura 9 - Esquema pórtico exemplificando o conceito de grau de indeterminação (Kenneth et al, 2009).	30
Figura 10 - Esquema pórtico, onde são mostradas alterações que transformam uma estrutura indeterminada em determinada (Kenneth et al, 2009).	30
Figura 11 - Colapso progressivo parcial do edifício Ronan Point, Londres, UK, 1968 (NISTIR – 7396, 2007).	33
Figura 12 - Colapso progressivo dos edifícios do World Trade Center, ocasionados por ataque terrorista em 2001, nos Estados Unidos (FEMA, 2002).	34
Figura 13 - Imagem do edifício do Pentágono, nos Estados Unidos, após o atentado de 11 de setembro de 2001 (NISTIR – 7396, 2007).	36
Figura 14 - A ilustração à esquerda, mostra a disposição dos estribos em um pilar não-cintado e em um pilar cintado. Já a foto da direita mostra um pilar real, que sofreu danos devido a um terremoto, mas que por ser cintado, ainda suporta a carga da estrutura acima dele (Phil M. Fergunson – Reinforced Concrete Fundamentals, 4ª edição, 1981).	38
Figura 15 - Exemplo de emulsão encartuchada, em diferentes diâmetros (Manual de Blaster Britanite, 2008).	41
Figura 16 - Carregamento de pilares com emulsão encartuchada (FUENTES, 2011).	42
Figura 17 - Conjunto formado pelo estopim conectado à espoleta simples Nº 08, também chamado de espoletim (Manual de Blaster Britanite, 2008).	46
Figura 18 - Espoleta simples Nº 08 (Manual de Blaster Britanite, 2008).	47
Figura 19 - Cordel detonante conectando cargas explosivas acondicionadas em furos feitos na base de uma chaminé de concreto armado que será demolida (FUENTES, 2011).	48

Figura 20 - Rolos de cordel detonante (Catálogo Maxam Brasil, 2017).....	49
Figura 21 - À esquerda da figura tem-se um esquema mostrando uma espoleta elétrica internamente, à direita uma foto mostrando uma espoleta elétrica real (HOLLANDA, 2016).	51
Figura 22 - NONEL ligação (HOLLANDA, 2016).	52
Figura 23 - NONEL coluna (HOLLANDA, 2016).	53
Figura 24 - Esquema de conexão feito com o sistema não elétrico de disparo (FUENTES, 2011).	54
Figura 25 - À esquerda, foto de um detonador eletrônico real e à esquerda esquema diminuto do detonador eletrônico com suas partes em destaque (Manual Smartshot, 2008).	55
Figura 26 - Detonador smartshot e suas partes internas (Manual Smartshot, 2008).	56
Figura 27 - Exemplo de dispositivo usado para digitar os tempos de retardo de cada espoleta do sistema eletrônico de disparo (Manual Smartshot, 2008).	57
Figura 28 - Sistema eletrônico de disparo (Manual Smartshot, 2008).	58
Figura 29 - Pórtico reticular representando uma edificação hipotética de 04 pavimentos, em três dimensões.	59
Figura 30 - Distribuição dos esforços axiais nos pilares da estrutura.	60
Figura 31 - Diagrama com valores dos esforços axiais atuantes nos pilares da base ao longo dos eixos 1 e 4.	61
Figura 32 - Diagrama com valores dos esforços axiais atuantes nos pilares da base ao longo dos eixos 2 e 3.	62
Figura 33 - Distribuição dos esforços uniaxiais nos pilares da estrutura, após a retirada dos pilares centrais da base.	63
Figura 34 - Diagrama com valores dos esforços axiais redistribuídos nos pilares da base ao longo dos eixos 1 e 4, após a retirada dos pilares do centro da estrutura.	65
Figura 35 - Diagrama com valores dos esforços axiais redistribuídos nos pilares da base ao longo dos eixos 2 e 3, após a retirada dos pilares do centro da estrutura.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de cimento fabricados no Brasil (ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, 2017)	22
Tabela 2 - Representação esquemática dos tipos de apoio (Almeida, 2009).....	26
Tabela 3 - Características básicas do estopim (HOLLANDA, 2016).	46
Tabela 4 - Esforços sobre os pilares P2/P2' e P3/P3', com e sem os pilares do centro da base da estrutura.....	66
Tabela 5 - Esforços sobre os pilares P5/P5' e P8/P8', com e sem os pilares do centro da estrutura.	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Generalidades.....	12
1.2	Justificativas e Motivação	16
1.3	Objetivos	17
1.3.1	Objetivo Geral	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
1.4	Estrutura da Dissertação	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	Estruturas de Concreto Armado: Histórico, Definições e Peculiaridades	19
2.2	O Colapso Progressivo das Estruturas de Concreto Armado	31
2.3	Explosivos	39
2.4	Acessórios de iniciação	45
3	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	59
3.1	O Uso de Softwares de Análise Estrutural como Ferramenta no Planejamento de Demolições com Uso de Explosivos.....	59
4	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	68
4.1	Conclusões	68
4.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	69
	REFERÊNCIAS.....	70
	ANEXO A – PLANTAS BAIXAS	73
	ANEXO B – PLANO DE FOGO.....	74
	ANEXO C – DOCUMENTOS	83

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

Quando uma estrutura de concreto armado apresenta um elevado grau de deterioração ou mesmo risco de desabamento, possui erros de concepção ou de execução, se encontra inacabada por questões legais ou financeiras, foi alvo de catástrofes naturais, guerras ou atentados terroristas, ou simplesmente atingiu o limite da sua vida útil, a função para a qual foi concebida, deixou de ser desempenhada convenientemente e essa estrutura deverá sofrer uma intervenção. Em todos esses casos, a demolição constitui-se como uma solução possível.

Em todo o mundo, cresce vertiginosamente o número de estruturas de concreto armado cujo período de vida útil está chegando ao fim, assim como a necessidade de readequação da estrutura urbana das grandes cidades. Dessa forma, a atividade de demolição vai adquirindo um peso cada vez maior, dando origem a um tipo específico de serviços altamente especializados, a demolição de estruturas com o uso de explosivos.

Segundo Jimeno et al. (2003), a demolição de estruturas mediante o uso de explosivos é uma técnica que se desenvolveu bastante na Europa durante a reconstrução das cidades destruídas pela Segunda Guerra Mundial, e que devido as suas vantagens se estendeu posteriormente para todo o mundo (Figura 1).

Ao longo da história da humanidade, várias situações geraram a necessidade do emprego de sistemas de demolição de estruturas, ainda que, nem sempre as intenções fossem as melhores.

Tradicionalmente, as guerras, além de estarem associadas diretamente ao extermínio de pessoas, estão associadas também a demolição das estruturas que constituem a paisagem urbana das cidades atingidas. Entre essas estruturas estão as pontes, viadutos, elevados, edifícios públicos e residenciais, monumentos, e todo tipo de sistema construído como parte integrante da infraestrutura de funcionamento de uma cidade. No entanto, as estruturas que são atingidas durante uma guerra, nem sempre são completamente demolidas, ficando parcialmente destruídas e gerando grande risco de desabamento.



Figura 1 - À esquerda, foto da cidade de Varsóvia na Polônia destruída durante a 2ª Guerra Mundial e à direita o mesmo local da cidade, já reconstruído.

A técnica de demolição com uso de explosivos é relativamente recente em todo o mundo. Na América Latina, a primeira implosão de um edifício aconteceu na cidade de São Paulo, na madrugada de 16 de novembro de 1975. Em aproximadamente oito segundos, os 30 andares do Edifício Mendes Caldeira, na Praça Clóvis Beviláqua, foram demolidos (Figura 2). O prédio foi destruído para a construção da estação Sé do metrô (Jornal O Globo, 17 de novembro 1975).



Figura 2 - Implosão do Edifício Mendes Caldeira, São Paulo, 1975.

A demolição de edifícios e estruturas de concreto armado em geral, e mais especificamente, a realizada com o uso de explosivos, é sempre um tema delicado e de alta responsabilidade. Em primeiro lugar porque em muitos casos se executa em áreas urbanas, onde se tem uma infinidade de áreas sensíveis a detonação e que precisam ser protegidas. Segundo porque em qualquer outro tipo de detonação, caso haja alguma falha, sempre há condições de se reparar o ocorrido com uma margem de segurança aceitável. Já no caso de uma demolição com explosivos, uma falha similar pode gerar um cenário com muitas incertezas, simplesmente pelo risco que se tem em se aproximar ou adentrar novamente ao interior de uma estrutura cuja a estabilidade tenha sido seriamente comprometida e possa vir a desmoronar repentinamente.

Nesse tipo de demolição, o explosivo deve ser considerado como uma ferramenta, que tem a função de, em um instante previamente definido, agir para romper e/ou cortar certos elementos estruturais específicos como, por exemplo, pilares, vigas e lajes.

Conforme explica Jimeno et al. (2003), essa técnica de demolição é baseada na aplicação de pequenas cargas explosivas, confinadas em perfurações feitas em elementos estruturais cuidadosamente escolhidos. Esses elementos estruturais, que por sua vez, têm a função de suportar os esforços gerados pela ação da gravidade na massa da estrutura como um todo, ao serem rompidos pela ação dos explosivos, permitem que a gravidade aja livremente, provocando um movimento de queda progressiva na estrutura, promovendo sua fragmentação, pelos choques entre os elementos que a compõe e por fim, pela violenta colisão de toda a estrutura contra o solo.

Segundo Fuentes (2011), a aplicação dessas pequenas cargas explosivas, se limitará apenas aqueles elementos estruturais que são necessários ao equilíbrio da estrutura, fazendo com que a detonação destes elementos leve a perda do equilíbrio e conseqüentemente, ao colapso progressivo da estrutura.

Assim, ainda que, para um observador externo, a visão de um edifício sendo demolido com explosivos, transmita a ideia de que toda aquela energia percebida tenha sido gerada pela detonação dos explosivos, na verdade a maior parte dessa energia foi gerada pelo impacto da estrutura ao se chocar contra o solo.

A continuação, todo o escombros resultante da demolição é transportado para um local predefinido para este fim, como um aterro ou planta de reciclagem, por

exemplo. No entanto, caso ajam fragmentos ainda grandes o suficiente, que dificultem ou impossibilitem seu transporte, utiliza-se uma demolição mecânica secundária, que conseguirá reduzir esses escombros maiores a tamanhos manipuláveis para os equipamentos de carregamento e transporte.

Além disso, por outra parte, cada projeto de demolição tem suas próprias peculiaridades com relação a sua parte estrutural, número de pavimentos, direção de queda e local de empilhamento dos escombros, risco de projeções, nível aceitável de vibração, etc.

Ainda segundo Fuentes (2011), o uso de cargas explosivas pequenas e seu acionamento sequenciado, garantem que as vibrações produzidas pela detonação sejam minimizadas a níveis aceitáveis para as estruturas do entorno. Com relação a vibração gerada pelo impacto do edifício contra o solo, devido ao fato de a queda se dar gradativamente, com os elementos estruturais sendo rompidos durante esse movimento, a estrutura não se impacta em um só golpe contra o solo, diminuindo assim a vibração transmitida para o terreno pelo impacto.

Fuentes (2011) explica também que um outro fator importante que se deve levar em conta é a geração de poeira, que representa um transtorno inevitável neste tipo de trabalho, mas que, diferentemente de uma demolição mecânica, cuja a geração de poeira é contínua ao longo da duração de toda a obra, no caso da demolição com uso de explosivos esse incômodo ocorre instantaneamente em um momento previsto, o que permite se tomar as medidas necessárias para mitigá-lo ao máximo.

Deve-se considerar também que, para se demolir com o uso de explosivos, a estrutura deverá ter sido previamente preparada retirando-se através de meios mecânicos uma série de elementos não estruturais, de forma a facilitar a ação dos explosivos, além de instalar proteções a fim de evitar possíveis projeções não desejadas.

Quando há a necessidade de se demolir uma determinada estrutura, a análise das características dessa estrutura irá indicar qual o método de demolição mais apropriado a ser utilizado. Assim, o uso de explosivos, não deve ser injustamente estigmatizado, mais sim aplicado quando represente uma técnica viável e represente uma opção melhor perante os demais sistemas de demolição.

1.2 Justificativas e Motivação

Em geral, a literatura referente a demolição de estruturas por meio de explosivos é bastante escassa, ficando quase que sua totalidade restrita a publicações nos EUA, Europa e Japão.

As crescentes exigências da sociedade, no que se refere a ocupação dos espaços urbanos, cada vez mais disputados pela crescente densidade demográfica nas grandes cidades, promove a necessidade de readequação desses espaços, tornando a técnica de demolição por explosivos uma opção a ser analisada.

A norma brasileira NBR 9653, que se restringe ao controle ambiental, define parâmetros para avaliar os efeitos do uso de explosivos no desmonte de rocha em áreas urbanas, e pode ser usada como referência em demolições com explosivos, pois estabelece a velocidade máxima de partícula, que é a grandeza associada a danos causados em estruturas devido a detonações. No entanto, no Brasil, não há uma norma específica para esse tipo de obra de demolição, havendo uma necessidade de se estudar e estabelecer os parâmetros técnicos a serem usados como base para redação de uma norma.

Em contrapartida, nas regiões metropolitanas das grandes cidades brasileiras, cresce o número de estruturas e edifícios que precisam ser demolidos, quer seja por motivos de reestruturação urbanística, por questões de mobilidade urbana, por motivos de segurança ou ainda pelo fato de a estrutura ter alcançado o limite de sua vida útil.

Geralmente, as normas de projeto, como a NBR-6118, consideram uma vida útil mínima de 50 anos para as estruturas usuais dos edifícios. Para obras de infraestrutura, como pontes e viadutos, pode ser necessário estabelecer critérios correspondentes a uma vida útil maior como, por exemplo, 100 anos. (ARAÚJO, 2014)

Segundo Manoel Jorge Dias, engenheiro de minas, brasileiro, especialista em implosão, e responsável técnico da implosão da antiga Casa de Detenção de São Paulo (Carandiru) e do estádio da Fonte Nova em Salvador, para se fazer a demolição manual de um prédio de dez andares, por exemplo, seriam necessários seis meses de trabalho diário, com geração contínua de barulho e poeira. Fazendo-se a demolição desse mesmo prédio com o uso de explosivos, a geração de barulho e de poeira ocorreriam de uma vez só, em um único momento. Além disso, de

maneira geral, a demolição com explosivos é mais barata que a demolição convencional, correspondendo a 50% ou até a 10% do custo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é o de Identificar os principais conceitos, procedimentos, parâmetros e condicionantes básicos referentes ao uso de explosivos na demolição de estruturas de concreto armado.

E como consequência, contribuir com o conhecimento acerca das técnicas inerentes aos serviços de demolição por meio de explosivos, além de fomentar a necessidade de se publicar literatura técnica nacional que aborde um tema cada vez mais presente nas obras de urbanização e infraestrutura das cidades brasileiras.

1.3.2 Objetivos Específicos

Conceituar estruturas de concreto armado, com ênfase em seu equilíbrio, sua estabilidade e no mecanismo de colapso progressivo;

Conceituar explosivo, apresentando tipos, características e propriedades;

Realizar simulações computacionais no intuito de exemplificar o uso dos conceitos abordados, na execução de projetos de demolição de estruturas de concreto armado com o uso de explosivos;

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada em 5 capítulos, conforme descrito a seguir:

O Capítulo 1 corresponde à introdução acerca do assunto. Apresentando ao leitor generalidades do tema em questão, a motivação que levou o autor a escolher esse tema em particular e os objetivos do texto.

O capítulo 2, intitulado de referência bibliográfica, foi dividido em duas partes: a primeira se dedica a conceituar estruturas de concreto armado, sua composição, os mecanismos associados ao equilíbrio e a estabilidade dessas estruturas e ao fenômeno do colapso progressivo. Já a segunda parte do capítulo 2 é dedicada aos explosivos, apresentando definições, tipos, características, propriedades inerentes a estes, os acessórios utilizados para sua iniciação e sua aplicação em demolições de estruturas de concreto armado.

O capítulo 3 mostra uma simulação computacional, onde é sugerido o uso de softwares de análise estrutural por meio de elementos finitos, no intuito de se obter, com mais precisão, a localização dos pontos mais adequados para a colocação das cargas explosivas na estrutura de concreto armado que se pretende demolir.

Por fim, as conclusões e sugestões para trabalhos futuros estão presentes no Capítulo 4, onde são resumidas as contribuições pretendidas por essa Dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estruturas de Concreto Armado: Histórico, Definições e Peculiaridades

Para uma tratativa mais completa do tema proposto nesta dissertação, faz-se necessária uma breve explanação acerca do conceito de estrutura e mais especificamente da estrutura de concreto armado.

O termo estrutura, em geral, se refere a um sistema resistente construído de forma estável e equilibrado. Conforme Almeida (2009), uma estrutura consiste em uma composição formada por uma ou mais peças, que é capaz de receber esforços externos, absorve-os internamente e transmiti-los à base onde está apoiada, sendo estes esforços equilibrados por forças externas que atuam como forças de reação aos esforços transmitidos.

No caso específico das estruturas estudadas neste trabalho, as partes ou peças que a compõem são feitas de concreto armado.

O concreto simples, resultado da mistura entre o cimento, areia, brita e água em quantidades bem definidas, é um material usado na construção civil desde a antiguidade. Conforme explica Souza Junior (2004), o concreto já era conhecido e aplicado em construções erguidas pelo Império Romano, que datam de mais de 2000 anos atrás. Ainda segundo Souza Junior (2004), assírios, babilônios e egípcios foram os primeiros a usar argila, cal e gesso como aglutinante, produzindo assim um tipo de cimento rudimentar.

O cimento, que é o principal constituinte do concreto, é um pó fino que funciona como aglomerante ou aglutinante e endurece sob a ação da água. Tem a função de unir os demais componentes do concreto e de preencher possíveis espaços vazios entre eles. A areia, chamada de agregado miúdo e a pedra britada, que é o agregado graúdo (Figura 3), dão maior resistência ao concreto e reduzem, significativamente, o seu custo total de produção (Bastos, 2006).



Cimento



Agregado miúdo (Areia)



Agregado graúdo (Brita)



Concreto simples

Figura 3 - Concreto simples e seus elementos constituintes (Bastos, 2006).

Nos dias atuais, o cimento do tipo portland é o mais utilizado em todo o mundo. Tendo sido desenvolvido na Inglaterra durante o século XIX, o cimento portland é uma mistura composta de uma gama de produtos, sendo o clínquer o mais importante deles. O clínquer (Figura 4) é um produto obtido a partir de processos chamados calcinação e clínquerização e suas matérias primas básicas são o calcário e a argila (Bastos, 2006).

“[...] A etapa de calcinação e de clínquerização ou cozedura dos materiais crus é considerada a fase central e mais complexa do processo de fabricação de cimento portland. Nesta etapa, nos processos via seca, os materiais crus após secos e finamente moídos e homogeneizados são gradativamente submetidos ao processo de aquecimento, calcinação, clínquerização e resfriamento em fornos rotativos de clínquerização industrial de grande porte, objetivando através deste processo térmico e termoquímico, em que o material atinge temperaturas de até 1450°C, inicialmente promover o aquecimento e a secagem dos materiais crus, bem como, a desidratação dos minerais argilosos e a decarbonatação do carbonato de cálcio e magnésio (CaCO_3 e MgCO_3), transformando-os em seus óxidos correspondentes com a liberação de gás carbônico ($\text{CaCO}_3 \Rightarrow$

$\text{CaO} + \text{CO}_2$ e $\text{MgCO}_3 \Rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$) e, posteriormente, a combinação do CaO com os demais compostos primários ou principais (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3), juntamente com os componentes secundários ou minoritários (Mg, S, K, Na, P, Mn, Ti, F, Cl entre outros), proveniente das matérias-primas e das cinzas dos combustíveis utilizados no processo de cozedura, transformando-os ao final deste processo em um composto granular denominado de Clínquer.” (Farenzena, 2011).



Figura 4 - Clínquer produzido pela Fábrica de Cimentos Intercement, em São Miguel dos Campos – AL (Branção, 2011).

No Brasil existe disponível no mercado uma grande variedade de cimentos do tipo portland. Conforme explica Bastos (2006), a principal diferença entre os diversos tipos de cimento portland fabricados no Brasil está na sua resistência a compressão simples. Dentre estes cimentos, os mais usados na construção civil são o CII E-32, o CII F- 32 e o CIII-40, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de cimento fabricados no Brasil (ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, 2017)

Tipo de Cimento	Adições	Sigla	Norma
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou filer (até 5%)	CP I-S 32 CP I-S 40	5732
Cimento Portland Composto	Escória (6-34%)	CP II-E 32 CP II-E 40	11578
	Pozolana (6-14%)	CP II-Z 32	
	Filer (6-10%)	CP II-F 32 CP II-F 40	
Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35-70%)	CP III 32 CP III 40	5735
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV 32	5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Materiais carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI	5733
Cimento Portland Resistente aos Sulfatos	Estes cimentos são designados pela sigla RS. Ex.: CP III-40 RS, CP V-ARI RS		5737

O número, no final da sigla que define o tipo do cimento, representa o f_{ck} , sigla em inglês para “*feature compression know*”, que representa a resistência característica a compressão e é medida em Mpa (megapascal). Conforme é explicado por Araújo (2014), o valor do f_{ck} exprime a resistência mínima que um do corpo de prova feito com esse cimento deve atender e esse valor é obtido a partir de uma análise estatística de dados. Essa análise é feita com base em ensaios de compressão uniaxial, realizados em corpos de prova construído com o cimento que se está analisando, conforme mostrado na Figura 5.

Dessa forma, no caso do cimento do tipo CII E-32, citado anteriormente como um dos mais usados na construção civil, o número 32 de sua sigla significa que seu f_{ck} é igual a 32Mpa, que por sua vez, transmite a ideia de que o concreto feito com este cimento resiste a uma tensão normal de 320 Kgf / cm².

Atualmente, na construção civil, está sendo empregado cada vez mais o chamado “Concreto de Alto Desempenho” - CAD. Esse concreto é caracterizado por possuir em sua composição um cimento especial com f_{ck} muito elevado quando comparado aos f_{ck} dos cimentos convencionais. Segundo Souza Junior (2004), uma das principais diferenças na fabricação desse tipo de cimento está na adição de minerais ativos, como a sílica ativa. Enquanto as resistências características (f_{ck})

dos cimentos tradicionais normalmente não ultrapassam 21 MPa, com o CAD é possível se atingir resistências superiores a 100 MPa.



Figura 5 - Ensaio de resistência a compressão em corpos de prova (LABMATEC – UNIVASF, 2016).

Conforme foi dito no início deste tópico, o concreto já era usado na construção civil desde a época do Império Romano, e os primeiros registros do uso de cimentos rudimentares datam de tempos ainda mais remotos, no entanto, conforme explicado por Souza Junior (2004) foi no século XIX, mesma época do desenvolvimento do cimento portland, que surgiu a ideia de se adicionar um elemento ao concreto que lhe atribuisse ademais de sua resistência a compressão, resistência também a tração (Figura 6), surgindo assim o concreto armado.

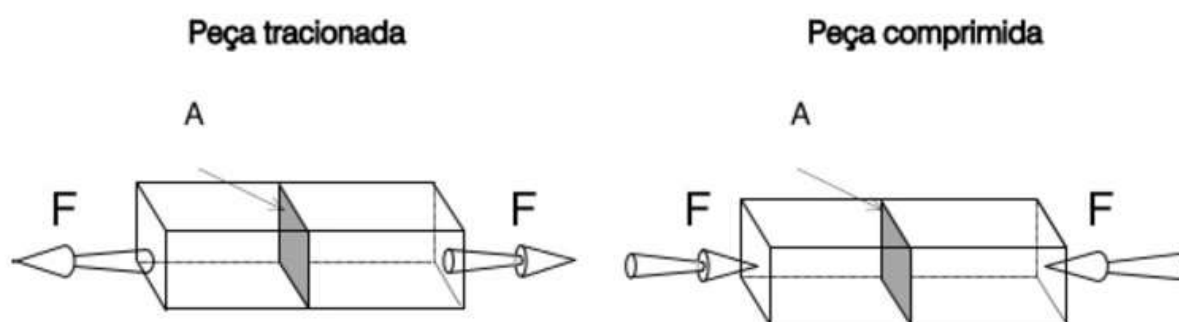


Figura 6 - Esquema mostrando a atuação dos esforços de tração e compressão (Bento, 2003).

O concreto, como foi apresentado até agora, é um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão, porém, apresenta baixa resistência à tração, sendo esse valor cerca de 10 % da sua resistência à compressão (Bastos,

2006). Sendo assim, havia a necessidade fundamental de se adicionar ao concreto um material que possuísse uma elevada resistência à tração, no intuito de suprir essa deficiência.

Assim, no final do século XIX, foi patenteado na França o concreto armado, que possuía em seu interior uma armação de barras de aço e que lhe conferia maior resistência a esforços de tração (Souza Junior, 2004). Dessa forma, ainda conforme Souza Junior (2004) “o concreto armado é definido como sendo o resultado da união do concreto simples com barras de aço, com perfeita aderência entre os dois materiais, de tal maneira que ambos resistam solidariamente aos esforços de compressão e tração a que forem submetidos”.

Uma característica muito peculiar do concreto armado é o fato de que os coeficientes de dilatação térmica do aço, que compõe sua armação, e do concreto em si são semelhantes, o que contribui para a aderência entre eles. Conforme mostra Souza Junior (2004), o coeficiente de dilatação térmica do aço é de, aproximadamente, $1,2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e o do concreto varia entre $(0,9 \text{ e } 1,4) \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, de forma que, para efeitos práticos, essa diferença torna-se insignificante, adotando-se para o concreto armado o valor único de $1,0 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Isso faz com que, as peças de concreto armado se comportem como se fossem monólitos, ou seja, blocos feitos de um único material, e que reagem de maneira solidária frente aos efeitos provocados pela variação de temperatura.

No contexto da construção civil e no que tange aos objetivos deste trabalho, as peças de concreto armado, que se conectam para compor uma estrutura maior, são chamadas de elementos estruturais. Segundo Almeida (2009), durante a construção de um edifício, por exemplo, a estrutura de concreto armado que forma o esqueleto do edifício fica bastante evidente, podendo-se identificar claramente os diferentes elementos estruturas que a compõe. Ainda segundo Almeida (2009), os principais elementos estruturais que compõem uma estrutura de concreto armado são as vigas, as lajes, os pilares, as sapatas e os blocos de fundação, conforme modelo simplificado da Figura 7. No entanto, para efeitos práticos, nesta dissertação iremos considerar as sapatas e os blocos de fundação apenas como fundações.

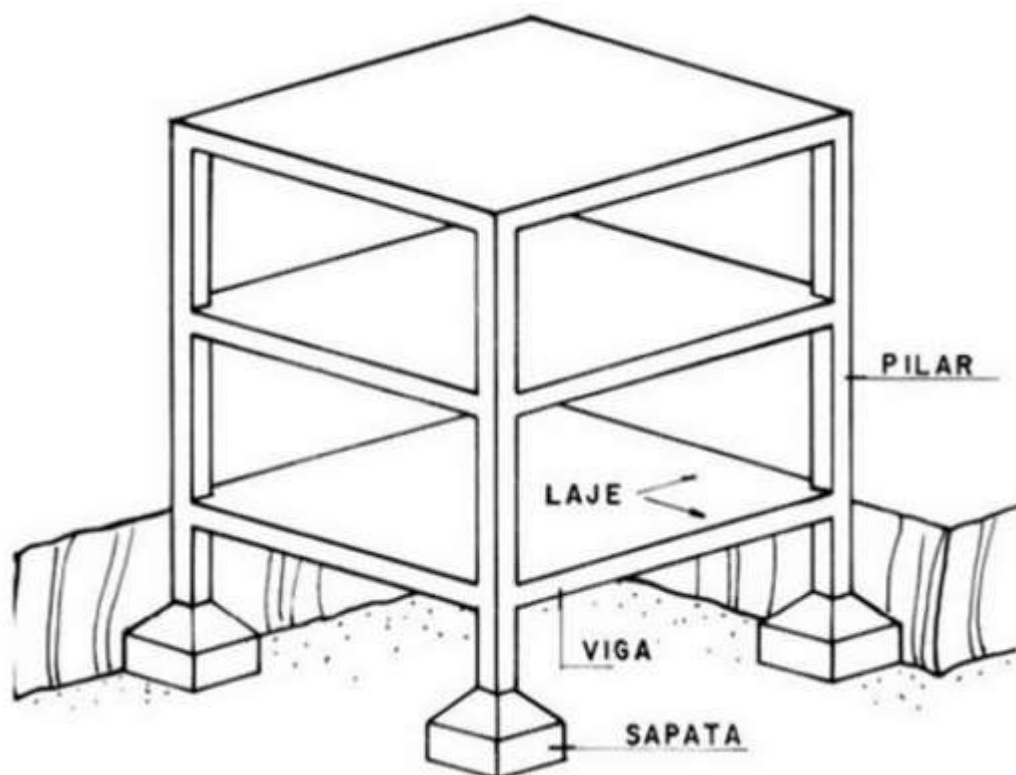


Figura 7 - Estrutura de concreto armado, com seus principais elementos estruturais em destaque.

As propriedades mais importantes dos elementos estruturais, assim como das estruturas das quais fazem parte são a resistência e a rigidez. Conforme é definido por Almeida (2009), “**resistência** é a capacidade de transmitir as forças internamente, molécula por molécula, dos pontos de aplicação aos apoios, sem que ocorra a ruptura da peça, enquanto que, **rigidez** é a capacidade de não deformar excessivamente, para o carregamento previsto, o que comprometeria o funcionamento e o aspecto da peça”.

Assim, com base nas definições de resistência e rigidez, podemos dizer que são estas propriedades que garantem que todas as ações ou esforços que atuam de forma direta ou indireta na estrutura, sejam transmitidos integralmente aos apoios dessa estrutura. Os apoios, por sua vez, reagem de forma recíproca a esses esforços através de tensões normais e tangenciais. Segundo Almeida (2009), os esforços que atuam nas estruturas podem ser internos e externos e são identificados pelas siglas ESI – Esforços Solicitantes Internos e ESE – Esforços Solicitantes Externos e são alvo de estudo da análise estrutural. Já as tensões normais e tangenciais que reagem a esses esforços são representadas pela sigla ERI - Esforços Resistentes Internos, e são objeto de estudo da Resistência dos Materiais.

Almeida (2009) diz ainda que, através do cálculo estrutural, o projetista de uma estrutura de concreto armado precisa garantir que os esforços resistentes internos (ERI) sejam maiores que os esforços solicitantes internos (ESI). Desta forma, a superfície onde a estrutura está apoiada, reage aos esforços a ela aplicados contribuindo assim para o equilíbrio da estrutura. Os pontos em que a estrutura toca a superfície que a apoia são chamados de apoios. Estes apoios são classificados em três tipos fundamentais, de acordo com as restrições de movimento que impõem ao elemento estrutural conectado (Tabela 2).

Tabela 2 - Representação esquemática¹ dos tipos de apoio (Almeida, 2009).

Representação dos apoios em modelos planos de estruturas	
Apoio Simples (Apoio de primeiro gênero)	
Articulação ou rótula (Apoio de segundo gênero)	
Engaste (Apoio de terceiro gênero)	

Conforme apresentado na Tabela 2, existem três tipos de apoio nos quais uma estrutura pode estar apoiada. Uma vez aplicados os esforços solicitantes de

¹Com o objetivo de facilitar a compreensão dos conceitos abordados neste trabalho, sempre que for apropriado, as representações esquemáticas das estruturas serão apresentadas aqui em modelos reticulados chamados pórticos, ou seja, os modelos serão unidimensionais, onde as dimensões de comprimento prevalecem em relação as outras dimensões.

uma estrutura nos seus apoios, estes reagem através de forças e momentos que têm a função de equilibrar o sistema de forças ativas (ALMEIDA, 2009).

Segundo Martha (2010), os tipos de apoio e a maneira como estes apoios reagem às forças ativas vão determinar as condições de equilíbrio da estrutura neles apoiada. Estas condições vão garantir o equilíbrio dos elementos estruturais e da estrutura como um todo.

Ainda segundo Martha (2010), a análise das reações de apoio se faz através das chamadas equações de equilíbrio. Estas equações determinam que ao longo de cada um dos três eixos ortogonais escolhidos para definir o espaço, o somatório das forças e dos momentos seja igual a zero.

Equações de equilíbrio no espaço:

$$\sum F_x = 0 ; \sum F_y = 0 ; \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0 ; \sum M_y = 0 ; \sum M_z = 0$$

As equações de equilíbrio, apesar de fornecerem condições necessárias, não são suficientes para a determinação dos esforços em todos os tipos de estrutura.

As estruturas que não podem ter seus esforços determinados apenas pelas equações de equilíbrio apresentadas são chamadas de estruturas hiperestáticas, já as estruturas que podem ter seus esforços internos e externos (reações de apoio) determinados apenas por estas equações de equilíbrio são chamadas estruturas isostáticas (MARTHA, 2010).

Conforme é explicado por Kenneth et al (2009), as estruturas hiperestáticas podem ser chamadas também de indeterminadas, enquanto que as isostáticas são chamadas determinadas. Em geral, nas estruturas indeterminadas, o número de reações de apoio é maior que o número de equações de equilíbrio, enquanto que no caso das estruturas determinadas essas quantidades são exatamente iguais.

Além das estruturas hiperestáticas e isostáticas, há também as estruturas chamadas de hipoestáticas, que são caracterizadas pelo fato de terem um número de reações de apoio menor do que o número de equações de equilíbrio, o que faz

com que estas estruturas sejam, por definição, mais instáveis e suscetíveis ao colapso (ALMEIDA, 2009).

Assim, com base no exposto acima, tem-se que, em geral, as estruturas reais construídas, alvo do estudo em questão são as isostáticas e hiperestáticas. Conforme Almeida (2009), a grande maioria das estruturas de concreto armado são, na verdade, hiperestáticas.

Voltando a Kenneth et al (2009), o mesmo explica que quando uma estrutura isostática ou determinada perde um de seus apoios, ocorre uma falha imediata em sua estrutura e esta passa a ser hipoestática, o que provoca a perda de sua estabilidade e consequentemente seu colapso.

Na Figura 8 observa-se o colapso de uma ponte no Japão, cuja estrutura era determinada, o que exemplifica o conceito exposto Kenneth.



Figura 8 - Colapso de uma ponte composta de vigas sobre apoios simples durante o terremoto de 1964 ocorrido em Niigata, Japão, (Kenneth et al, 2009).

“Quando o terremoto fez a estrutura da ponte oscilar em cada vão, as extremidades das vigas, que eram apoiadas em rolos, deslizaram dos pilares e caíram na água. Se as extremidades das vigas mestras fossem contínuas ou conectadas, a ponte poderia ter sobrevivido com danos mínimos” (Kenneth et al, 2009).

Em geral, no caso das estruturas indeterminadas ou hiperestáticas, tem-se um número de reações de apoio bem maior do que o número de equações de equilíbrio e em consequência disso, existem também vários caminhos alternativos, através dos quais as cargas podem ser transmitidas aos apoios. Isso faz com que, a eventual perda de um ou mais apoios em uma estrutura indeterminada não implique necessariamente em falha estrutural e instabilidade da estrutura, (Kenneth et al, 2009).

Ainda segundo Kenneth et al (2009), para que o exposto acima ocorra, se faz necessário que, após a retirada de alguns apoios de uma determinada estrutura, os apoios que restarem forneçam pelo menos três restrições ao movimento, restrições estas adequadamente organizadas de forma a redistribuir as cargas, mantendo assim a estabilidade da estrutura como um todo.

Este entendimento está diretamente ligado ao conceito de grau de hiperestaticidade ou grau de indeterminação. Kenneth et al (2009), explica que o grau de indeterminação é a diferença numérica entre a quantidade de restrições de movimento ou reações de apoio e a quantidade de equações de equilíbrio somadas as equações de condição, de forma que, no caso de termos uma diferença positiva, ou seja, mais restrições do que equações, a estrutura é indeterminada e seu grau de indeterminação é exatamente o valor dessa diferença.

Para exemplificarmos melhor este conceito, utilizaremos o esquema pórtico ilustrado na Figura 9, onde são apresentadas todas as equações de equilíbrio do plano, as reações de apoio do pórtico, e a diferença que define o seu grau de indeterminação.

restrições de movimento em cada apoio, o que totaliza seis reações de apoio. A essas se somam três graus de indeterminação interna no laço E, F, G, H e mais três graus de indeterminação interna no laço D, E, H, I, que são obtidos de forma semelhante ao caso exemplificado na Figura 9. Assim, têm-se, ao somar-se as seis restrições de apoio aos seis graus de indeterminação interna um valor total igual a doze, de forma que, subtraindo-se desse total as três equações de equilíbrio do plano, ao todo o pórtico (a) apresenta $12 - 3 = 9$ graus de indeterminação.

Já no pórtico (b), que sofreu alteração estrutural em relação ao pórtico (a), as reações de apoio se resumem a três e os laços E, F, G, H e D, E, H, I, por terem sido seccionados, já não possuem mais seus graus de indeterminação interna. Dessa forma, subtraindo-se do total de reações de apoio e graus de indeterminação interna as três equações de equilíbrio do plano, ao todo, o pórtico (b) apresenta $3 - 3 = 0$ graus de indeterminação, o que o caracteriza como estrutura determinada.

2.2 O Colapso Progressivo das Estruturas de Concreto Armado

Dando continuação a explanação acerca dos conceitos introdutórios sobre estruturas de concreto armado, abordaremos nesse capítulo o fenômeno do colapso progressivo. Fenômeno este que, apesar de ser considerado pelos projetistas estruturais como sendo uma ameaça à integridade das estruturas construídas, pode ser utilizado de forma deliberada como aliado, no momento em que o objetivo passa a ser a demolição dessas estruturas.

Conforme é definido por Laranjeiras (2010), o termo “Colapso Progressivo” consiste em um fenômeno que ocorre quando um determinado elemento estrutural que compõe uma estrutura, como por exemplo um pilar, uma viga, etc., sofre uma ruptura por motivos diversos e essa falha repercute de forma a danificar os demais elementos estruturais que compõem a estrutura, gerando uma reação em cadeia que resulta, ao fim, no colapso parcial ou total da estrutura em questão. Ou seja, uma ruptura, normalmente acidental, de um determinado elemento estrutural, pode desencadear o desmoronamento de toda uma estrutura ou de uma parte dela.

Ainda segundo Laranjeiras (2010), durante um colapso progressivo, a propagação do dano, localizado em um determinado elemento estrutural, ocorre elemento a elemento ao longo da estrutura, gerando um evento desproporcionalmente maior do que o evento inicial que deu origem ao processo. De forma análoga, podemos associar esse tipo de processo, ou reação em cadeia, ao que ocorre no caso do “castelo de cartas de baralho”, que cai completamente quando dele retiramos uma determinada carta.

Outra definição de colapso progressivo relaciona o progresso do fenômeno em questão ao baixo grau de hiperestaticidade da estrutura, atribuindo à situação de colapso o título de estado último de segurança estrutural. Assim, o colapso progressivo, é descrito por Lu et al. (2009), como sendo “a difusão de uma falha inicial através da estrutura como um todo, que acontece devido ao fato da falha inicial ocorrer em um ponto fraco da estrutura associado ao fato desta estrutura não prover um caminho de equilíbrio adequado à redistribuição de esforços” Essa definição está diretamente associada ao conceito dos caminhos alternativos, conceito este já citado neste texto, e que diz que a eventual perda de um ou mais apoios em uma estrutura indeterminada, ou seja hiperestática, não implica necessariamente em falha estrutural e instabilidade da estrutura.

Segundo Kim et al. (2009), “o processo de colapso progressivo é desproporcional, dinâmico e acompanhado de grandes deformações que representam a busca da estrutura por caminhos alternativos de equilíbrio”. Dessa forma, podemos dizer que, com base no exposto até então, o fenômeno do colapso progressivo é beneficiado e se torna mais provável de ocorrer quando a estrutura em análise possui um baixo grau de hiperestaticidade, ou seja, um reduzido número de caminhos alternativos, pelos quais a estrutura poderia redistribuir suas cargas quando da falha ou ruptura de algum de seus elementos estruturais.

Voltando a Laranjeiras (2010), o mesmo relata ainda que, o fenômeno do colapso progressivo despertou a atenção do meio técnico da construção civil pela primeira vez quando, em 1968, ocorreu o colapso parcial do edifício de apartamentos Ronan Point, localizado no bairro de Newham, ao leste da cidade de Londres, na Inglaterra (ver Figura 11).

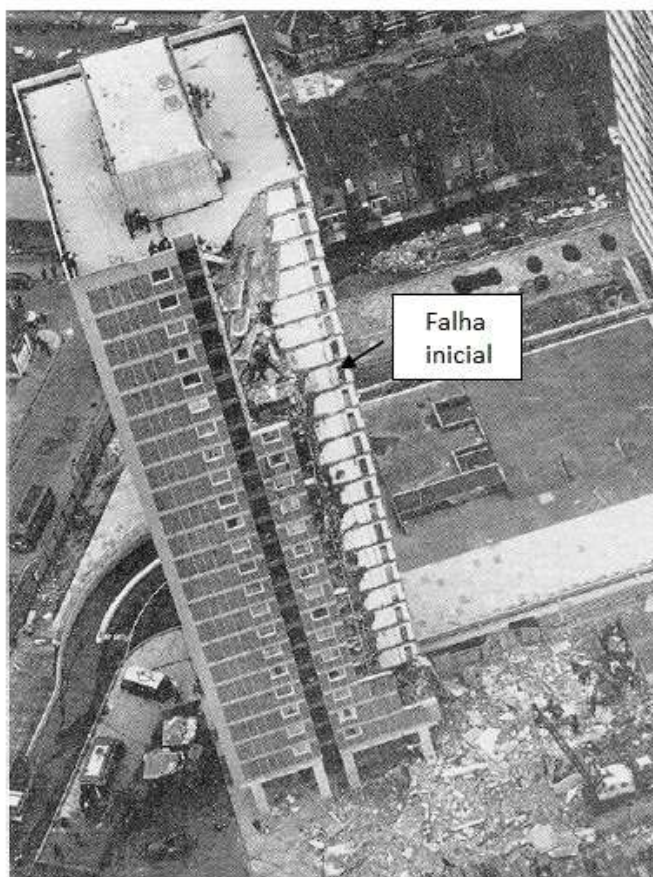


Figura 11 - Colapso progressivo parcial do edifício Ronan Point, Londres, UK, 1968 (NISTIR – 7396, 2007).

“Na ocasião, uma explosão de gás na cozinha, localizada na esquina do 18º pavimento da estrutura de 22 andares constituída de painéis portantes pré-moldados, expeliu o painel portante da fachada e, com isso, o colapso da laje sem apoio da cozinha do andar de cima se propagou para cima, até a laje da cobertura, e para baixo, até o térreo, NIST - National Institute of Standards and Technology, NISTIR – 7396 (2007)”.

Outro caso relevante e possivelmente um dos casos mais conhecidos de colapso progressivo foi o ataque terrorista aos edifícios do World Trade Center, na cidade de Nova Iorque, nos Estados Unidos, em 11 de setembro de 2001 (Figura 12). Na ocasião, dois aviões sequestrados por terroristas colidiram intencionalmente contra as Torres Gêmeas do complexo empresarial, matando todos a bordo dos aviões e muitas das pessoas que trabalhavam nos edifícios. Ambos os prédios sofreram colapso progressivo, desmoronando duas horas após os impactos, destruindo edifícios vizinhos e causando vários outros danos aos arredores do local do ocorrido, FEMA – Federal Emergency Management Agency (2002).



Figura 12 - Colapso progressivo dos edifícios do World Trade Center, ocasionados por ataque terrorista em 2001, nos Estados Unidos (FEMA, 2002).

Assim, de forma a resumir o que foi exposto pelos diferentes autores citados até agora, no que se refere ao mecanismo do fenômeno de colapso progressivo das estruturas de concreto armado, podemos afirmar que esse processo é dinâmico e ocorre de forma não linear, onde falhas nos elementos estruturais que compõem uma determinada estrutura ocorrem de forma sequenciada em decorrência de um dano singular e localizado. E que sua natureza não linear fica evidenciada, pelo fato de o dano inicial ser, em geral, desproporcional ao efeito final provocado.

Segundo Oliveira et al. (2016), o mecanismo do colapso progressivo é rápido e composto de quatro etapas básicas, conforme descrito abaixo:

- i. dano inicial causando redistribuição dos esforços estáticos e aparecimento de esforços dinâmicos;
- ii. estabilização estrutural ou falha de um ou mais membros estruturais vizinhos ao ponto afetado;

iii. desabamento de lajes e paredes no caso de falhas dos membros vizinhos ao ponto inicialmente atingido, gerando novas ações dinâmicas e aumentando o carregamento estático;

iv. nova redistribuição de esforços que dá continuidade ao ciclo.

Dessa forma, ainda segundo Oliveira et al. (2016),

“Fica clara a natureza dinâmica do processo, representada pela existência de vibrações provenientes do dano local inicial e do desabamento de elementos de função estrutural. A presença da não linearidade física também pode ser facilmente assimilada, subentendido que a falha de vigas e colunas decorre da solicitação destes elementos além da zona de proporcionalidade definida pela Lei de Hooke. Já a presença de fatores associados à não linearidade geométrica é devida, principalmente, à mudança da forma da estrutura e à reorganização do carregamento”.

O relatório NISTIR – 7396 (2007), do NIST, explica ainda que, um outro fator importante que influencia significativamente no processo de colapso, pois gera vulnerabilidade estrutural, é a ausência ou deficiência de continuidade dos elementos estruturais ao longo de uma estrutura, além da deficiência com relação a ductilidade dos materiais, dos elementos estruturais e das ligações estruturais entre esses elementos.

Assim, Laranjeiras (2010) explica que, determinados projetos são mais vulneráveis ao colapso progressivo, em virtude das dificuldades em prover continuidade e ductilidade aos seus sistemas, devido, por exemplo, a presença de lajes pré-moldadas, apoiadas em paredes de alvenaria, e de elementos estruturais pré-moldados, conectados através de aparelhos de apoio e sem as devidas ligações íntimas entre si, ligações essas que, quando são feitas “in loco” , garantem uma melhor continuidade dos elementos estruturais.

Voltando ao episódio trágico ocorrido nos Estados Unidos em 11 de setembro de 2001, podemos citar também o caso do edifício do Pentágono, sede do Departamento Nacional de Defesa, localizado na cidade de Arlington no estado da Virgínia, e que neste mesmo dia foi igualmente atingido por um avião sequestrado por terroristas, que o colidiram contra a estrutura de forma proposital, no intuito de destruí-la (ver Figura 13), FEMA (2002).

No entanto, no caso do edifício do Pentágono, apesar de a estrutura ter sofrido extensos danos nos pilares do primeiro piso, conforme é explicado pelo

relatório NISTIR – 7396 (2007), o colapso dos andares de cima foi extremamente limitado.



Figura 13 - Imagem do edifício do Pentágono, nos Estados Unidos, após o atentado de 11 de setembro de 2001 (NISTIR – 7396, 2007).

A estrutura do Pentágono consiste em um edifício com cinco pavimentos, sendo a estrutura convencional de concreto armado, com pilares, vigas e lajes, construídos e interligados “in loco” de forma solidaria e monolítica, o que garante a continuidade dos elementos estruturais e reforça a redundância estrutural. Além disso, uma particularidade dessa estrutura está na forma de construção de seus pilares de base, sendo estes cintados com o uso de estribos helicoidais, garantindo maior resistência a esses pilares que recebem a carga total somada de todos os pavimentos do prédio.

Laranjeiras (2010) analisa que, devido ao projeto estrutural e a maneira como o edifício do Pentágono foi construído, apesar dos extensos danos provocados pelo impacto do avião aos pilares do piso inferior, o colapso dos andares superiores foi bastante reduzido. E as principais características do projeto que levaram a essa limitação estão relacionadas a redundância estrutural, que promove a existência de caminhos alternativos favorecendo à redistribuição das cargas, e também a

continuidade estrutural dos elementos e ao elevado grau de ductilidade destes, além do reforço de resistência dos pilares da base devido ao seu interior cintado (Figura 14). Com base nos conceitos, parâmetros e condicionantes que foram resumidamente explanados até agora, no que se refere às estruturas de concreto armado, seu equilíbrio, sua estabilidade e o fenômeno do colapso progressivo, fenômeno este que pode ocasionar o desmoronamento de uma estrutura, tem-se, como objetivo desta dissertação, o intuito de debater esses assuntos de forma a entender como se pode utilizar esses conhecimentos para aprimorar os trabalhos de demolição controlada das estruturas de concreto armado. Ou seja, usar de forma estratégica os mecanismos de colapso progressivo e encontrar os pontos de vulnerabilidade das estruturas para, de forma precisa, incrementar e favorecer o colapso progressivo dessas estruturas através do uso de explosivos.

“Quando controlado, o colapso progressivo e sua capacidade destrutiva podem ser utilizados como ferramenta do setor construtivo. Isso ocorre em casos de demolição controlada de edifícios, onde os eventos de dimensões catastróficas causados pelo ciclo “falha/redistribuição de cargas”, característico do fenômeno de colapso progressivo, são, de fato, desejados. No entanto, para que os resultados esperados sejam alcançados sem imprevistos, é de grande importância que todos os parâmetros associados ao processo sejam conhecidos, incluindo a carga necessária para dar início à sequência de falhas, a localização dos elementos atingidos por essas falhas e disposição dos resíduos durante e após evento” (Oliveira et al., 2016).

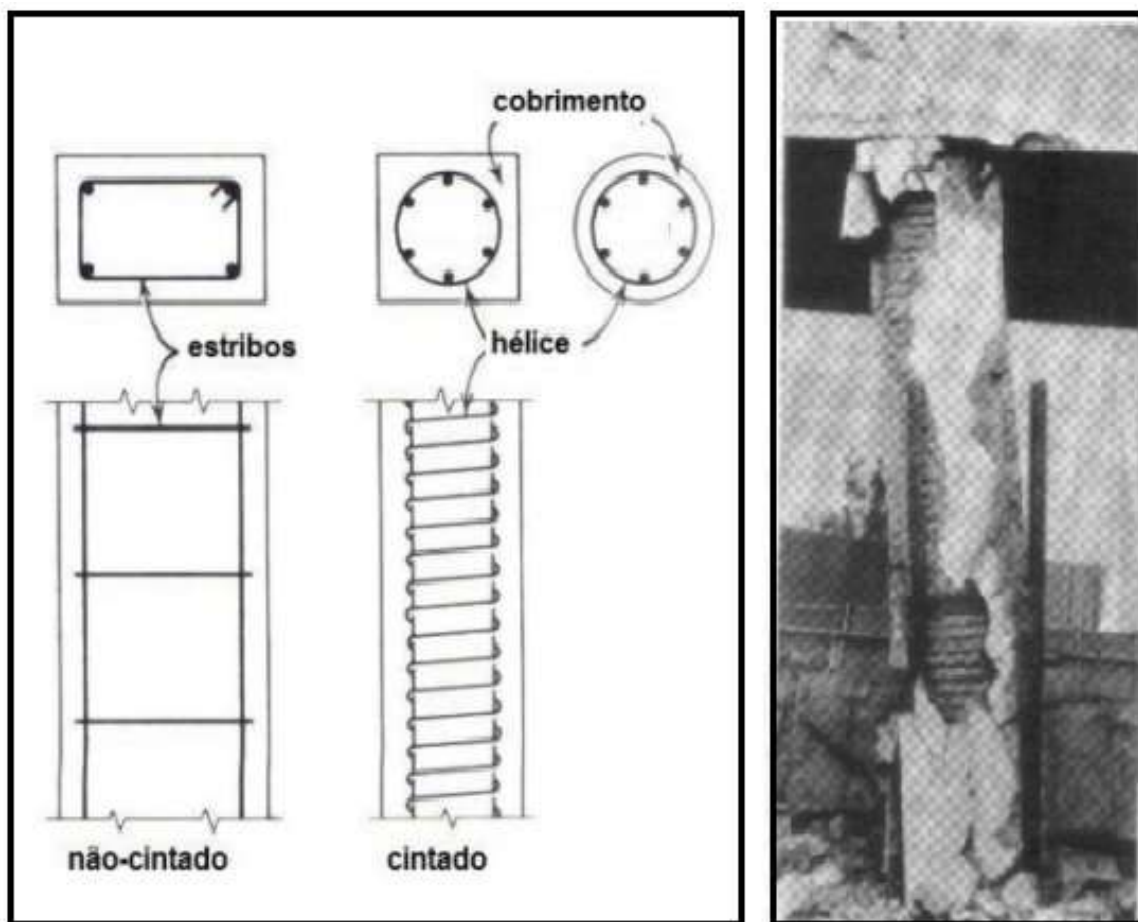


Figura 14 - A ilustração à esquerda, mostra a disposição dos estribos em um pilar não-cintado e em um pilar cintado. Já a foto da direita mostra um pilar real, que sofreu danos devido a um terremoto, mas que por ser cintado, ainda suporta a carga da estrutura acima dele (Phil M. Ferguson – Reinforced Concrete Fundamentals, 4ª edição, 1981).

Apesar da ênfase deste trabalho no mecanismo de colapso progressivo, e do intuito de usar tal fenômeno de forma deliberada na demolição das estruturas de concreto armado, existem outros métodos de demolição que, em geral, são escolhidos de acordo com a geometria e a esbeltez da estrutura que se deseja demolir. Conforme explica Fuentes (2011), a esbeltez de uma estrutura, que consiste na relação entre a área de sua superfície em planta e sua altura, é a principal característica a ser levada em conta para a escolha do método mais adequado para a demolição desta estrutura.

Assim, ainda segundo Fuentes (2011), para estruturas esbeltas, ou seja, aquelas em que sua altura supera muito sua superfície em planta, como é o caso de chaminés, o método mais adequado é o tombamento, método este em que com o uso de explosivos, se cria uma cunha na base da estrutura e esta, por sua vez, tomba para o lado em que a cunha foi criada, levando ao rompimento dos elementos estruturais devido ao impacto da estrutura contra o solo. Já no caso oposto, em que a altura da estrutura não é tão expressiva em relação a área de sua base, o método que induz o colapso progressivo da estrutura é o mais adequado.

Nos anexos deste trabalho é apresentado um plano de fogo de demolição de um edifício esbelto hipotético, para exemplificar o método de demolição por tombamento da estrutura.

2.3 Explosivos

Em geral, o volume de explosivo utilizado na demolição de uma estrutura de concreto armado é muito pequeno em relação ao volume utilizado em um desmonte de rocha, por exemplo. De forma que, esse tipo de trabalho não justifica a produção, por parte dos fabricantes, de explosivos e acessórios específicos para essa aplicação (FUENTES, 2011).

Assim, na prática, o que se observa é que, em sua grande maioria, os explosivos utilizados para a demolição de estruturas civis são exatamente os mesmos fornecidos para uso em minerações e obras públicas, escolhendo-se dentre os produtos disponibilizados pelos fabricantes aqueles que, por suas características, se adaptem melhor a essa aplicação, contando-se ainda com a vantagem de se ter disponibilidade imediata e a garantia de fornecimento com custos mais aceitáveis.

“Por definição, explosivo é uma a substância, ou uma mistura de substâncias químicas, que tem a propriedade de, ao ser iniciado convenientemente, sofrer transformações químicas violentas e rápidas, que resultam na liberação de grandes quantidades de energia em reduzido espaço de tempo, gerando um elevado volume de gases” (JIMENO et al., 2003).

“Nesse tipo de reação química, a reação de oxidação ocorre com a participação exclusiva do oxigênio intrínseco a substância explosiva. São alcançadas velocidades de reação que variam de 1.500 a 7.000 m/s e, em função da quantidade de energia envolvida no processo, faz-se sempre acompanhada de um fenômeno físico chamado de onda de choque que, com sua frente de elevada pressão dinâmica, confere a detonação um grande poder de ruptura” (HOLLANDA, 2016).

Segundo Jimeno et al (2003), a iniciação dos explosivos pode ocorrer por impacto, atrito ou chama, no entanto, a grande maioria dos explosivos de uso civil são idealizados pelos fabricantes para serem iniciados por impacto.

Uma das classificações mais convenientes dos materiais explosivos é feita com relação a sua sensibilidade, ou seja, ao estímulo necessário para iniciar sua reação de decomposição. Segundo essa classificação, os explosivos podem ser primários ou secundários (SANCHIDRIAN; MUNIZ, 2003).

Os explosivos primários, que também são chamados de explosivos iniciadores, são caracterizados por ter maior sensibilidade, ou seja, oferecem uma maior facilidade de decomposição quando excitados por agentes externos (SANCHIDRIAN; MUNIZ, 2003).

Esses explosivos destinam-se ao carregamento das cápsulas dos detonadores, tendo como constituintes, por exemplo, o fulminato de mercúrio e a azida de chumbo (PINTO, 1958).

A sua finalidade primária é a de fornecer energia para iniciar outros explosivos, os secundários, motivo este para serem usados nos detonadores, bem como pelo fato de detonarem com relativa facilidade (PINTO, 1958).

Já os explosivos secundários, que também são chamados de explosivos de ruptura, são, por assim dizer, os explosivos propriamente ditos. Tão potentes quanto os explosivos primários, estes, por serem mais estáveis, necessitam de um maior aporte de energia para iniciar o seu processo de detonação, o que é conseguido por meio de um explosivo primário (SANCHIDRIAN; MUNIZ, 2003).

Em sua maioria, esses explosivos têm a finalidade de produzir o efeito de ruptura ou trabalho mecânico. O seu uso destina-se, por exemplo, ao desmonte de rocha, abertura de galerias ou túneis, e a demolição de estruturas de concreto armado (BARRROS, 1984).

No que se refere ao uso dos explosivos para demolir estruturas de concreto armado, vale fazer um breve relato acerca das perfurações que precisam ser feitas nessas estruturas. Essas perfurações tem a finalidade de acondicionar as cargas explosivas que, no momento da demolição, serão acionadas para romper as estruturas. Assim, segundo Fuentes (2011), a perfuração consiste na origem da demolição e é fundamental para a localização das cargas explosivas que serão colocadas em cada um dos pontos críticos da estrutura a ser demolida.

Com exceção das chamadas cargas ocas e das cargas diédricas, que são utilizadas em demolições de estruturas metálicas, e que não serão abordadas nesta dissertação, o explosivo encartuchado é o formato de apresentação mais amplamente utilizado em demolições de estruturas com explosivos, e o que melhor se adequa ao sistema de perfuração normalmente utilizado nesse tipo de serviço (FUENTES, 2011).

A Figura 15, a seguir, ilustra a aparência da emulsão encartuchada que, em geral, consiste em uma massa de textura pastosa, envolta de um filme plástico e

normalmente chega ao consumidor final acondicionada em caixas de 25 Kg. Esse tipo de explosivo pode ser comercializado em diferentes diâmetros e comprimentos, desde que obedeça aos limites impostos pelo seu valor de diâmetro crítico, atendendo assim as diferentes demandas do produto (Guia de produtos Britanite, 2013).

Ainda segundo Fuentes (2011), o calibre das perfurações em obras de demolição costuma estar limitado a duas polegadas, assim como a carga de explosivo por furo limita-se, em geral, a 500 gramas, o que também favorece a utilização de explosivo encartuchado, para esse tipo de carregamento.

Além disso, dentre a gama de explosivos que são fornecidos em cartuchos, é importante ainda, selecionar aqueles que atendem a algumas características específicas.



Figura 15 - Exemplo de emulsão encartuchada, em diferentes diâmetros (Manual de Blaster Britanite, 2008).

Uma dessas características diz respeito ao diâmetro das cargas explosivas que serão utilizadas. Em geral, em trabalhos de demolição com o uso de explosivos, são utilizadas cargas individuais muito pequenas, com menos de 500g de explosivo por furo carregado, por isso as perfurações costumam ter um diâmetro de 1,5" $\approx 38\text{mm}$ (JIMENO et al., 2003).

Assim, na maioria dos casos, os cartuchos mais utilizados são aqueles que com diâmetro inferior a 1,5".

No entanto, as cargas explosivas em formato cilíndrico têm um diâmetro por baixo do qual a onda de detonação não se propaga, ou se o faz é com uma velocidade muito abaixo da necessária para se ter o regime de detonação. Essa dita dimensão se denomina de diâmetro crítico de um explosivo (JIMENO et al., 2003; SANCHIDRIAN; MUNIZ, 2003).

Naturalmente, os diâmetros dos diferentes tipos de explosivo se encontram sempre acima desse valor crítico. Contudo, em trabalhos de demolição, pode ocorrer o fato de que algum furo que se vai carregar não comporte o uso de um cartucho inteiro, por exemplo, e se faça necessário parti-lo, cortando-o em um pedaço menor de forma a obter uma carga mais precisa. Assim, é importante salientar que esse corte seja feito sempre de forma transversal ao cartucho e nunca longitudinal a este, para dessa forma manter seu diâmetro original e não correr o risco de se ter um diâmetro menor do que o seu diâmetro crítico, o que poderia causar uma falha no momento da detonação (FUENTES, 2011).

Abaixo, na Figura 16, veem-se os pilares da base de uma estrutura de concreto armado que será demolida, sendo carregados com explosivo do tipo emulsão encartuchada.

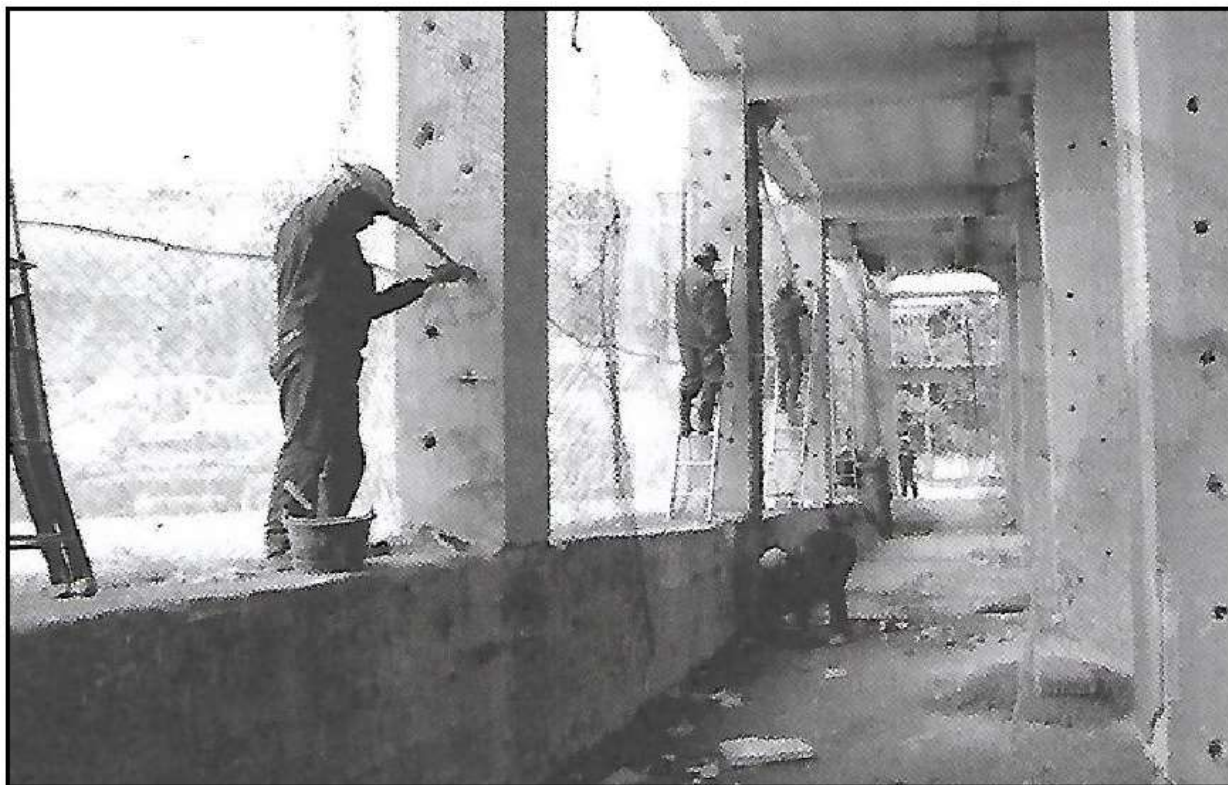


Figura 16 - Carregamento de pilares com emulsão encartuchada (FUENTES, 2011).

Uma outra característica importante referente aos explosivos usados em serviços de demolição diz respeito a sua composição química. Dentre os principais explosivos fornecidos em forma de cartucho estão as dinamites nitroglicerinas, as emulsões encartuchadas e os hidrogéis encartuchados. No entanto, no Brasil, devido a fatores relacionados a segurança na fabricação, no transporte e no manuseio, as dinamites nitroglicerinas não estão mais sendo fabricadas nem comercializadas pelos grandes fornecedores (LEMOS, 2017, Informação verbal).

Além disso, no quesito custo benefício, os hidrogéis encartuchados ainda são uma opção mais onerosa quando comparados as emulsões, o que faz com que a emulsão encartuchada seja hoje a opção mais requisitada em serviços de demolição com o uso de explosivos no Brasil (TAVARES, 2017, Informação verbal).

A emulsão é um produto que consiste em uma fase aquosa dispersa em uma fase oleosa. A fase aquosa é formada por pequenas gotículas de uma solução saturada de nitrato de amônia (NH_4NO_3) em água, e estas, estão rodeadas pela fase oleosa contínua, formada por uma fina película de óleo mineral que envolve cada gotícula aquosa (ALONSO, 2007).

Entram ainda em sua composição, agentes emulsificantes, espessantes, para aumentar sua consistência, e sensibilizantes, como o Nitrito Sódico (NaNO_2), que incrementam a onda de detonação e garantem a reação de detonação do produto quando iniciado corretamente (HOLLANDA, 2016).

Outra característica importante dos explosivos e que se deve ter em conta quando do uso deste em demolição de estruturas, diz respeito a consistência de sua massa.

Isso se deve ao fato de que, mesmo o explosivo sendo encartuchado, como as vezes se faz necessário o corte do cartucho, caso a consistência da massa explosiva em seu interior seja muito fluida, esta escorrerá pelo cartucho quando este for cortado, dificultando sua manipulação e consequentemente o carregamento dos furos. Dessa forma, é importante que a massa explosiva encartuchada tenha uma consistência plástica, que permita ser cortada com facilidade, mas que não seja fluida (FUENTES, 2011).

Ainda no quesito referente às características dos explosivos, relevantes ao seu uso em demolição de estruturas, tem-se a questão da sensibilidade para sua iniciação. Segundo Jimeno et al (2003), a sensibilidade de um explosivo é a

“medida” de quão fácil esse explosivo pode ser detonado ao receber um estímulo por impacto, atrito ou chama.

Conforme foi dito anteriormente, qualquer explosivo pode ser iniciado por impacto, atrito ou chama, mas, em geral, os explosivos secundários, são idealizados para serem iniciados ao receber o impacto produzido por um explosivo primário, o que lhes confere um nível razoável de segurança com relação a uma possível iniciação acidental, oriunda de um impacto, atrito ou chama produzidos de forma equivocada por fontes externas ao processo planejado.

A grande maioria dos explosivos industriais disponíveis no mercado são seguros com relação a esse aspecto, mas ainda assim, uns são mais sensíveis do que outros. Os explosivos do tipo emulsão e hidrogel são, em geral, menos sensíveis e em consequência disso mais seguros, pois necessitam de um aporte maior de energia para serem iniciados, o que diminui significativamente o risco de disparo acidental devido a estímulos não planejados. Já os explosivos sensibilizados com nitroglicerina, são mais sensíveis e devem ser manipulados com um cuidado extra (JIMENO et al, 2003; SANCHIDRIAN; MUNIZ, 2003).

No entanto, no que tange ao tema em questão, a observação mais importante que se deve fazer com relação a característica da sensibilidade, se refere ao fato de que todos os explosivos que venham a ser usados em serviços de demolição, devem ser sensíveis ao detonador ou espoleta Nº 08² e ao cordel detonante de menor gramatura (cordel NP 03, por exemplo), pois os detonadores Nº 08 e os cordéis detonantes são os acessórios mais utilizados para iniciar as cargas explosivas, em trabalhos de demolição. Dessa forma, ficam isentos desse tipo de uso todos aqueles explosivos que requerem, para sua iniciação, o emprego de reforçadores³, normalmente utilizados para acionar explosivos bombeáveis, explosivos estes que não se adequam as condições de carregamento em demolições de estruturas (FUENTES, 2011).

² Os detonadores ou espoletas Nº 08 são acessórios de iniciação e possuem, como carga ativa, aproximadamente 800mg de explosivo primário em seu interior (SANCHIDRIAN; MUNIZ, 2003).

³ Os reforçadores, também chamados de “boosteres”, são acessórios explosivos utilizados para iniciar cargas explosivas de baixa sensibilidade, como é o caso por exemplo das emulsões e hidrogéis bombeáveis.

2.4 Acessórios de iniciação

Conforme explica Jimeno et al (2003), os acessórios de iniciação são elementos que tem a finalidade de iniciar cargas explosivas, fornecer ou transmitir chama para iniciar uma carga explosiva e/ou propagar uma onda explosiva de um ponto para outro ou de uma carga para outra.

Segundo Sanchidrián e Muniz (2003), os acessórios de iniciação, além de iniciar as cargas explosivas as quais estão conectados, são usados também para temporizar cada uma dessas cargas, de forma que cada carga seja disparada em um tempo predeterminado conforme o projeto do plano de fogo⁴, direcionando assim o movimento do material que está sendo detonado, e influenciando de forma significativa na fragmentação desse material e no controle de vibrações e projeções.

Em geral, os acessórios de iniciação empregados de forma usual em obras civis de detonação são: os estopins, os detonadores ou espoletas, os cordéis detonantes, os retardos de tempo, os sistemas não elétricos, também chamados de sistemas NONEL⁵, e os sistemas eletrônicos de disparo (Manual de Blaster Britanite, 2008).

Os estopins consistem em cabos compostos por um filamento de pólvora envolto por camadas de fio de algodão e revestimento de material plástico. O estopim queima a uma velocidade constante de aproximadamente 140 segundos por metro, conduz a chama lentamente ao longo de seu comprimento e provoca a detonação da espoleta conectada na extremidade oposta à que foi aceso, dando início assim a todo o sistema a ele conectado (Manual de Blaster Britanite, 2008).

Normalmente, os estopins são vendidos cortados em comprimentos pré-definidos e conectados a uma espoleta simples Nº 08 em uma de suas extremidades, na outra extremidade uma massa de acendimento rápido, semelhante a uma cabeça de fósforo, é colocada para acionamento por chama. O amolgamento, que prende a espoleta ao estopim é executado através de equipamento de precisão e oferece garantia de uma iniciação perfeita. Esse conjunto espoleta / estopim é chamado de espoletim e é um dos acessórios utilizados para iniciar todo o sistema de detonação (Manual de Blaster Britanite, 2008) (Figura 17).

⁴ Plano de fogo: Documento elaborado pelo Engenheiro de Minas, onde constam os dados técnicos da detonação e a sequência de disparo das cargas explosivas (JIMENO, 2003)

⁵ A sigla NONEL significa: não elétrico. E se refere ao sistema não elétrico de disparo de explosivos.

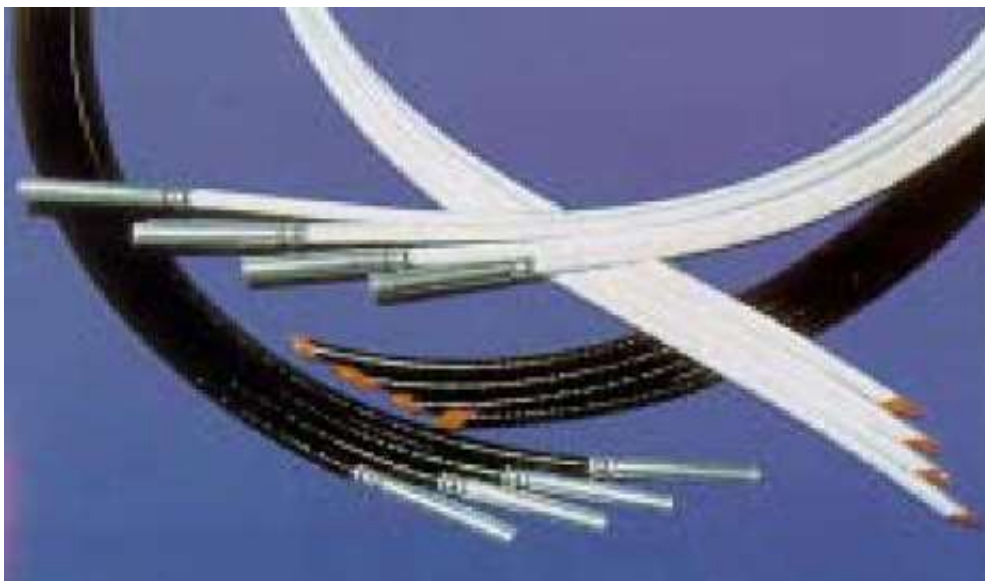


Figura 17 - Conjunto formado pelo estopim conectado à espoleta simples Nº 08, também chamado de espoletim (Manual de Blaster Britanite, 2008).

O espoletim, devido a sua queima lenta, dá o tempo suficiente para que o técnico que o aciona abandone a área de risco e se posicione em uma área segura.

Na Tabela 4 são apresentadas as características básicas deste acessório.

Tabela 3 - Características básicas do estopim (HOLLANDA, 2016).

Características básicas do estopim	
Núcleo	Misto de Pólvora Negra
Queima	Lenta
Tempo de Queima	140 s/m ($\pm 10\%$, 20 ° C)
Resistência Máxima a Tração	28 kgf
Revestimento Externo	Termoplástico
Raio máximo de curvatura	12,5 mm

As espoletas Nº 08, citadas até agora, são acessórios que consistem em uma cápsula de alumínio contendo, aproximadamente, 800 mg de carga explosiva e são dimensionadas para iniciar cordéis, sistemas não elétricos e explosivos encartuchados. Essas espoletas estão presentes como parte integrante dos espoletins e também, no sistema não elétrico, fazem parte do NONEL de coluna. Já as espoletas Nº 06, que têm carga reduzida, estão presentes exclusivamente nos retardos do sistema não elétrico (NONEL ligação), e têm a função de dar continuidade ao sinal que se propaga através do sistema não elétrico, quando do uso deste (ALONSO, 2007).

Um esquema da espoleta simples Nº 08 é apresentado na Figura 18.

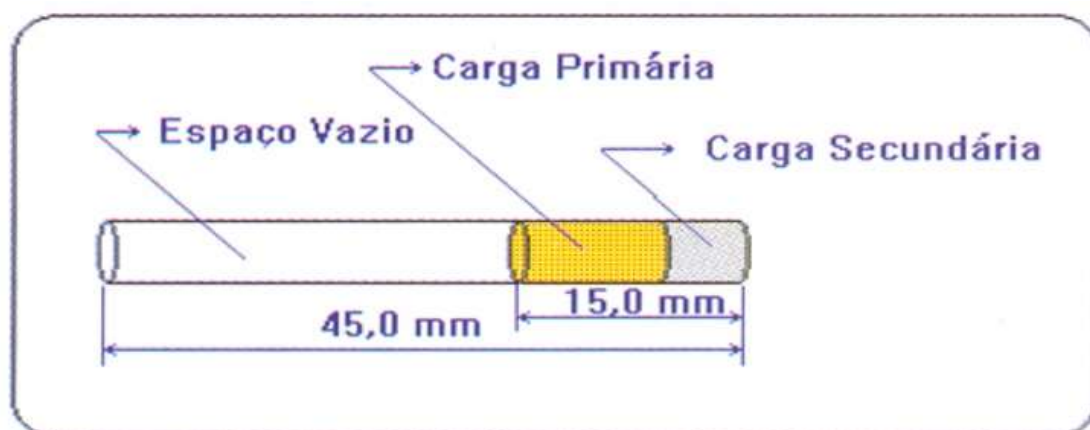


Figura 18 - Espoleta simples Nº 08 (Manual de Blaster Britanite, 2008).

Dando sequência aos acessórios de iniciação tem-se o cordel detonante. Este acessório, bastante utilizado em trabalhos de demolição, tem aparência de cabo ou fio, e sua finalidade é iniciar cargas explosivas e/ou conectar as cargas entre si, levando o sinal de acionamento de uma carga para outra em função de sua própria detonação; portanto, não transmite chama como o estopim, mas garante a propagação da detonação ao longo de todas as cargas explosivas a ele conectadas (FUENTES, 2011).

Na Figura 19, vê-se um exemplo de uso do cordel detonante, em obra de demolição de estruturas de concreto armado.



Figura 19 - Cordel detonante conectando cargas explosivas acondicionadas em furos feitos na base de uma chaminé de concreto armado que será demolida (FUENTES, 2011).

O cordel detonante consiste em um cabo, cujo núcleo cilíndrico é composto por um explosivo chamado nitropenta, e esse núcleo é envolvido por uma camada protetora de fibras têxteis e PVC que lhe assegura resistência à tração, impermeabilização à água, óleo e outros líquidos (Figura 20). A explosão do núcleo do cordel detonante precisa ser iniciada por uma espoleta Nº 08. Sua velocidade de detonação é da ordem de 7.000 m/s (SANCHIDRIAN; MUNIZ, 2003).



Figura 20 - Rolos de cordel detonante (Catálogo Maxam Brasil, 2017).

Os cordéis detonantes podem ter diferentes calibres, de acordo com a quantidade de explosivo por metro linear, presente em seu núcleo. Dessa forma, o cordel do tipo NP 03 possui 03 gramas do explosivo nitropenta por metro de cabo, o NP 05 possui 05 gramas do explosivo nitropenta por metro de cabo, e assim por diante, podendo chegar até valores de 100 gramas de nitropenta por metro, no caso de cordéis de alta gramatura (JIMENO et al., 2003).

O conceito de diâmetro crítico, que foi abordado no tópico 2.3 dessa dissertação, está diretamente associado ao calibre dos explosivos. Segundo Fuentes (2011), os cordéis detonantes são os explosivos que possuem o menor diâmetro crítico dentre os explosivos usados em serviços de demolição. Assim, devido a essa característica, os cordéis de alta gramatura são, muitas vezes, usados para atuar como carga efetiva de carregamento, em vez de cabo conector. Isso ocorre quando, um determinado furo que precisa ser carregado com explosivo possui um diâmetro menor do que o diâmetro crítico das emulsões encartuchadas, que é de três quartos de polegada, o que faz com que o cordel de alta gramatura, que se acondiciona bem em furos mais estreitos, seja uma opção adequada (FUENTES, 2011).

Em certas ocasiões, em obras de demolição de estruturas, pode ser necessário não romper completamente um elemento estrutural, mas cortá-lo para

que seja utilizado como apoio para giro. Nesse caso, a utilização do cordel detonante também será como carga efetiva dos furos, que estarão disposto formando uma linha e agirão em conjunto, no momento de seu disparo, para promover um corte no elemento estrutural em questão. A escolha da gramatura desse cordel será feita de acordo com o espaçamento entre os furos e seus diâmetros (FUENTES, 2011).

Ainda dando sequências aos acessórios de detonação, faz-se necessário comentar sobre um dos fatores mais importantes, que se deve ter em conta, no que se refere aos trabalhos de demolição de estruturas com o uso de explosivos, e esse fator diz respeito a temporização dos retardos e detonadores. A temporização da detonação de cargas explosivas em uma demolição e o seccionamento dos pontos onde estas estão posicionadas, constituem a base para direcionar a queda das estruturas que estão sendo demolidas. Atualmente, existem basicamente três tipos genéricos de detonadores disponíveis no mercado: os elétricos, os não elétricos e os eletrônicos (JIMENO et al., 2003).

Todos os tipos de detonadores dispõem de um sistema de temporização, um retardo de tempo interior e, em geral, esses sistemas funcionam em três momentos sequenciais. Primeiramente, com a chegada do sinal de iniciação, o dispositivo é posto em funcionamento, em seguida seu mecanismo interior retarda durante um tempo predeterminado a passagem do sinal de iniciação que chegou até ele. Por fim esse sinal chega até a carga primária do detonador e esse, em consequência, dispara acionando a carga ou acessório onde está conectado (JIMENO et al., 2003).

Essa sequência citada acima pode ainda ter um incremento a mais de tempo de retardo, no caso dos detonadores não elétricos. Nesse sistema, pode-se utilizar retardos exteriores, os chamados NONEL ligação, nas conexões dos tubos de choque, retardando o sinal de iniciação antes de sua chegada ao detonador. Tendo-se assim retardos exteriores aos furos e retardos interiores aos furos, funcionando conjuntamente (JIMENO et al., 2003).

Nesses casos, deve-se obedecer a premissa geral de que nenhuma carga explosiva deverá detonar antes de que todos os detonadores utilizados na demolição estejam ativados, ou seja, que o sinal de iniciação tenha chegado até eles. Caso contrário, a detonação de uma determinada carga poderá produzir projeções ou movimento na estrutura de forma a romper conexões antes mesmo de o sinal de iniciação passar por elas, levando assim a falhas das cargas explosivas

cujos detonadores não chegaram a receber o sinal para serem ativados. Isso quer dizer que, no momento em que a primeira carga detonar, todo o circuito de conexões já deve ter sido percorrido pelo sinal de iniciação, de forma que sua ruptura não acarretará mais em nenhum prejuízo para o funcionamento do sistema como um todo. Para que isso ocorra corretamente, o somatório dos tempos dos retardos exteriores do circuito que leva até a última carga a ser detonada, não poderá ser maior do que o tempo de retardo interior dos detonadores utilizados (FUENTES, 2011).

Dentre os tipos de detonadores citados anteriormente, tem-se o detonador elétrico (Figura 21). Ele é constituído por uma resistência elétrica envolta em pólvora negra e colocada junto ao explosivo primário, a azida de chumbo, justaposto ao explosivo secundário, a nitropenta. A resistência está ligada a fios de cobre e seu acionamento ocorrerá mediante a passagem de uma corrente elétrica fornecida pelo equipamento de disparo. Nesse momento, com o aquecimento da resistência, esta inicia a pólvora em que está envolta, dando sequência a detonação dos demais explosivos contidos na cápsula do detonador (Manual de Blaster Britanite, 2008).

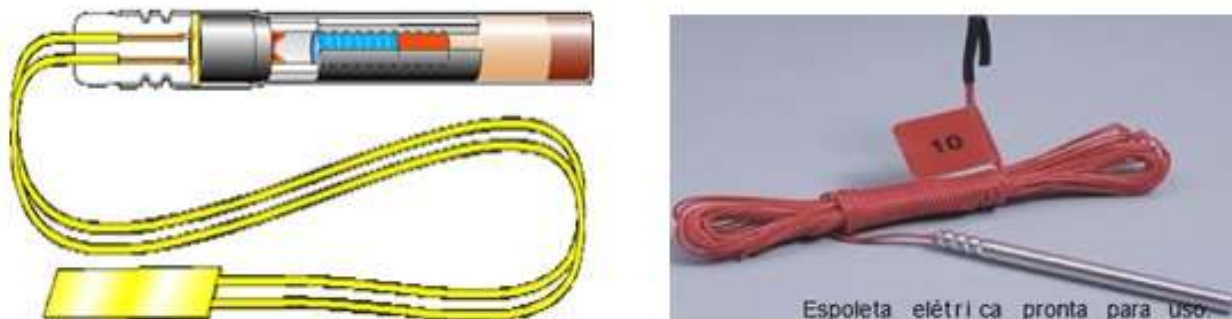


Figura 21 - À esquerda da figura tem-se um esquema mostrando uma espoleta elétrica internamente, à direita uma foto mostrando uma espoleta elétrica real (HOLLANDA, 2016).

A iniciação pode ser instantânea ou com retardo, dependendo da presença ou não do elemento de retardo no interior da cápsula. A utilização da espoleta com retardo permite a detonação de cargas explosivas segundo uma sequência pré-definida, o que é de fundamental importância para trabalhos de demolição, além de permitir o controle das vibrações e a melhoria da fragmentação.

Outro sistema já bastante citado até agora no tópico acessórios de iniciação, é o sistema não elétrico de disparo, também conhecido pela sigla NONEL. Esse sistema consiste em tubos de plástico flexíveis e ocos, chamados de tubos de

choque, que possuem em sua extremidade uma espoleta, que poderá ser instantânea ou possuir retardo. Sua parede interna é revestida por uma fina camada de uma mistura pirotécnica ou por um explosivo de alta velocidade. Ao ser acionado, transmite o sinal até a espoleta, sem danificar o cabo.

Conforme foi explicado anteriormente, nesse tipo de sistema é possível o uso de retardos exteriores, que introduzem um tempo de retardo na transmissão do sinal de detonação, esses elementos são chamados de NONEL ligação ou conector de superfície (Figura 22).



Figura 22 - NONEL ligação (HOLLANDA, 2016).

Após a passagem pelo NONEL ligação, o sinal de detonação é então transmitido a outro elemento, o NONEL coluna (Figura 23), que possui em sua extremidade o detonador não elétrico. Este por sua vez é conectado na carga explosiva, introduzido no furo a ser detonado e pode possuir ou não retardo em seu interior.

É importante conhecer o número de tubos de choque de outros detonadores e conectores que podem ser encaixados no conector de um NONEL ligação, pois durante a execução de um trabalho de demolição de estruturas, em um pilar que contenha um número de furos maior do que este valor, será necessário o uso de mais de um NONEL ligação para transmitir o sinal de detonação para todos esses furos.



Figura 23 - NONEL coluna (HOLLANDA, 2016).

Em síntese, os tipos de sistemas não elétricos mais usados em trabalhos de demolição são:

- Iniciador ou Zero - ideal para iniciar detonações a uma distância segura, como é o caso de demolições de estruturas com uso de explosivos.
- Coluna ou CA - utilizado no interior do furo carregado, preferencialmente com espoleta colocada no fundo do mesmo. O NONEL coluna possui espoleta Nº 08.
- Ligação ou de superfície – usado para fazer as conexões dos tubos de choque de coluna introduzindo um tempo de retardo exterior, na sequência de detonação (Figura 24). O NONEL ligação possui espoleta Nº 06 e não é indicado para iniciar cordéis ou cargas explosivas, se restringindo apenas para a iniciação de tubos de choque do próprio sistema NONEL.

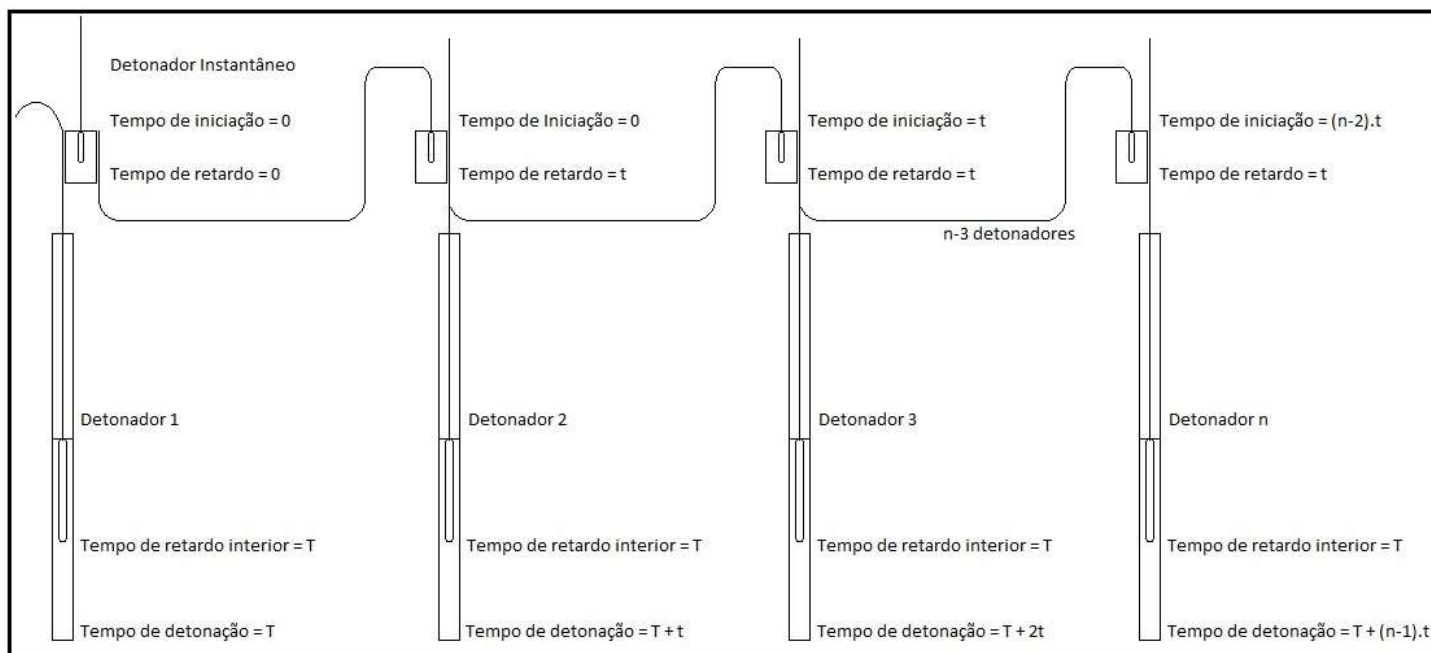


Figura 24 - Esquema de conexão feito com o sistema não elétrico de disparo (FUENTES, 2011).

O esquema da Figura 24 mostra um exemplo de conexão onde a sequência de detonação começa com a iniciação do detonador 0, cujo tempo de retardo é 0 (zero). O primeiro furo, que não tem retardo exterior, se iniciará em um tempo 0 e detonará em um tempo T, que é o tempo de seu retardo interior. O segundo furo se iniciará em um tempo t, porque terá um retardo exterior e detonará em um tempo (T + t), pois se somarão o seu tempo de retardo interior ao tempo adicionado pelo retardo exterior de sua conexão. O terceiro furo se iniciará em um tempo 2t e detonará em um tempo (2t + T); e assim sucessivamente de tal maneira que a iniciação do detonador que ocupe o lugar n, se produzirá em um tempo (n – 1) x t e sua detonação ocorrerá em um tempo T + ((n – 1) x t), sendo n o número de furos que se encontrem antes dele.

Isto quer dizer que os detonadores serão iniciados em um tempo igual a ((n – 1) x t). Se esse tempo for menor que o tempo T do retardo interno dos detonadores, nenhum detonador irá detonar antes de que todos os detonadores dessa conexão tenham sido iniciados, eliminando assim o risco de corte do circuito de conexões.

Para finalizar o tópico dedicado aos acessórios de iniciação, os sistemas eletrônicos de disparo apresentam-se como o tipo de acessório mais moderno e seguro disponível hoje no mercado de explosivos a nível mundial (Manual de Blaster Britanite, 2008).

A Figura 25 mostra um modelo de detonador eletrônico, com seus cabos e conectores.

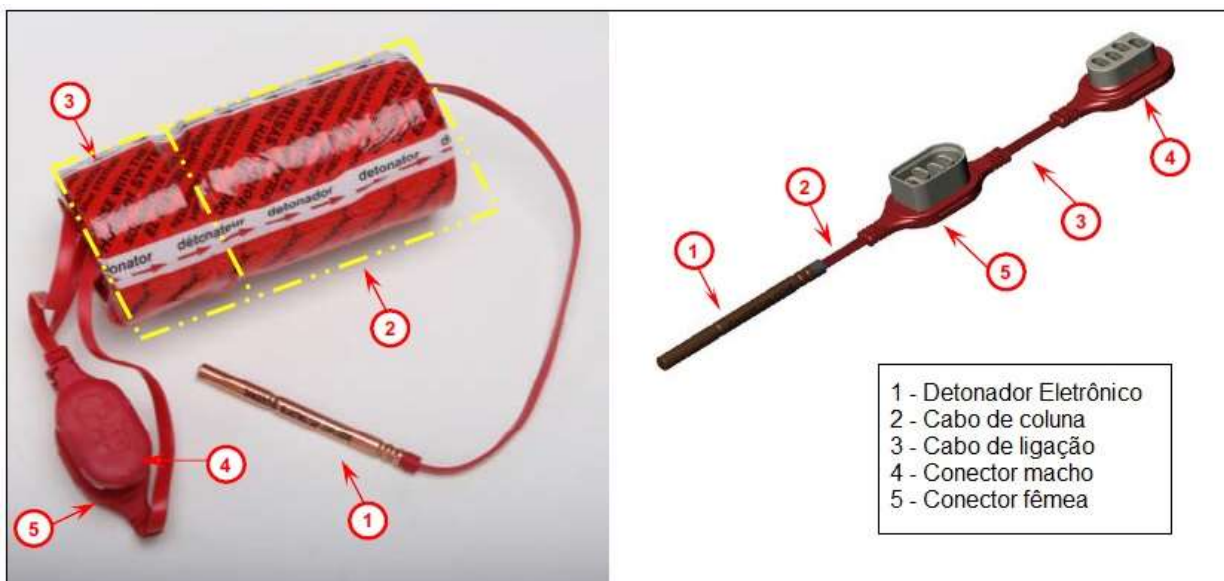


Figura 25 - À esquerda, foto de um detonador eletrônico real e à esquerda esquema diminuto do detonador eletrônico com suas partes em destaque (Manual Smartshot, 2008).

Em geral, esse tipo de sistema consiste na interação entre 2 componentes: a espoleta eletrônica e os mecanismos computadorizados de temporização e disparo. O acionamento da espoleta ocorre de forma similar ao sistema elétrico, entretanto os dispositivos eletrônicos presentes dentro da espoleta proporcionam maior segurança, versatilidade e precisão na temporização dos retardos. Esse sistema costuma ser aplicado em situações bem específicas, que exigem maior exatidão dos tempos de retardo, como é o caso das demolições de estruturas de concreto armado com o uso de explosivos (BAZANTE; et al., 2004).

O principal diferencial dos sistemas eletrônicos de disparo consiste no fato de que dentro das espoletas há um circuito eletrônico contendo um chip. Esse chip pode ser programado via computador, dessa forma o operador do sistema digita o tempo de retardo de cada espoleta seguindo com precisão os tempos planejados no plano de fogo (HOLLANDA, 2016).

Um modelo de detonador eletrônico exibindo suas partes internas é mostrado na Figura 26.

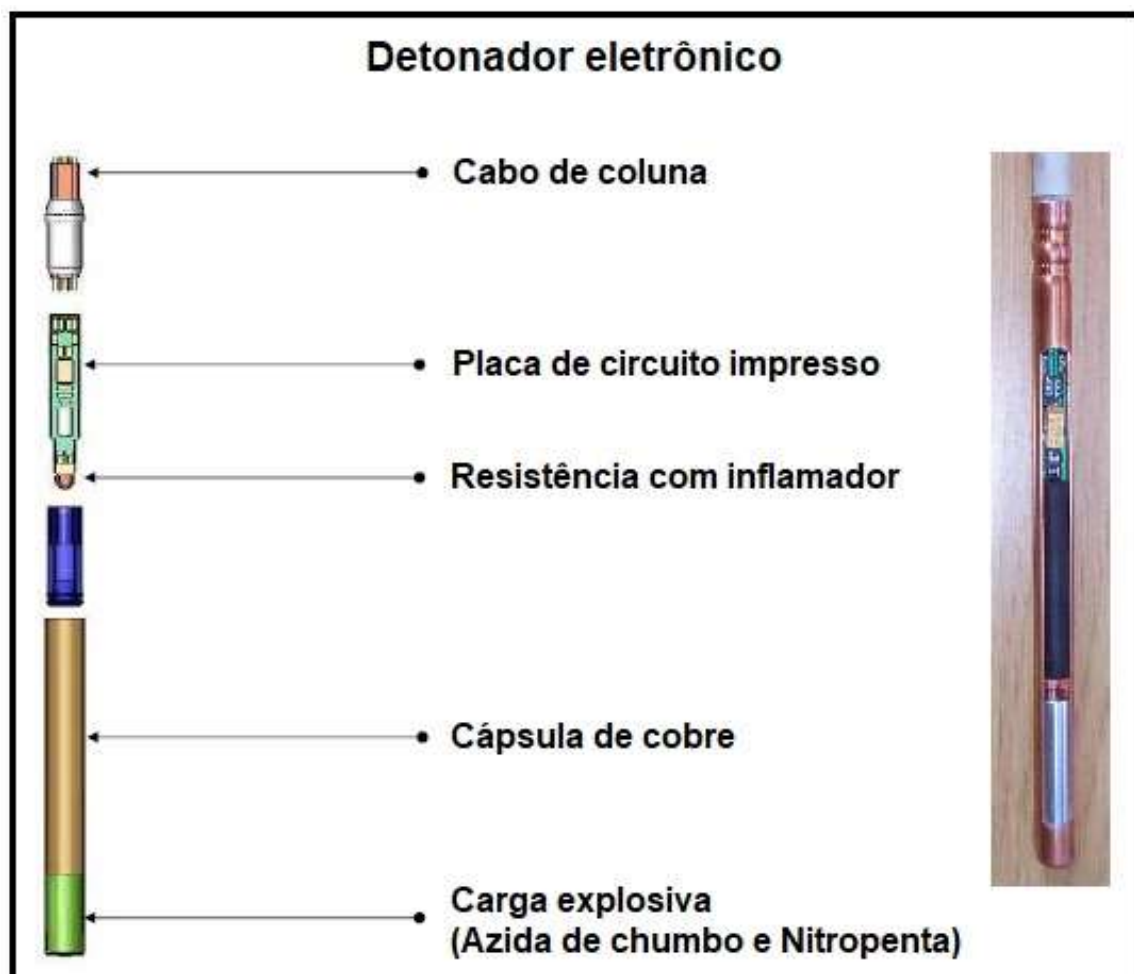


Figura 26 - Detonador smartshot e suas partes internas (Manual Smartshot, 2008).

Além disso, os sistemas eletrônicos de disparo são mais seguros e confiáveis, sendo desenvolvidos para serem aplicados em qualquer tipo de obra de demolição, com intervalos de tempos que podem variar de 0 a 20.000 ms. (Manual Smartshot, 2008).

O sistema dispõe de um dispositivo de programação portátil, similar ao mostrado pela Figura 27, onde o operador define os tempos de retardo. Cada espoleta é identificada pelo sistema e permite que seja programada de acordo com as características operacionais da demolição. Além disso, pode-se simular a sequência de disparo das espoletas antes ou após do carregamento dos furos. A iniciação das cargas só acontece após a conferência e confirmação do correto funcionamento de todo o sistema, por parte de um dispositivo de disparo, o que diminui significativamente o risco de falha (BAZANTE; et al., 2004).



Figura 27 - Exemplo de dispositivo usado para digitar os tempos de retardo de cada espoleta do sistema eletrônico de disparo (Manual Smartshot, 2008).

Nos casos dos modelos com opção de disparo por rádio frequência, o operador pode disparar o fogo desde uma distância de até 3.500m, desde que não haja obstáculos que bloqueiem o sinal de rádio (Manual Smartshot, 2008).

A Figura 28 apresenta um esquema com a configuração básica de um sistema de disparo eletrônico, que utiliza sinal de rádio frequência.

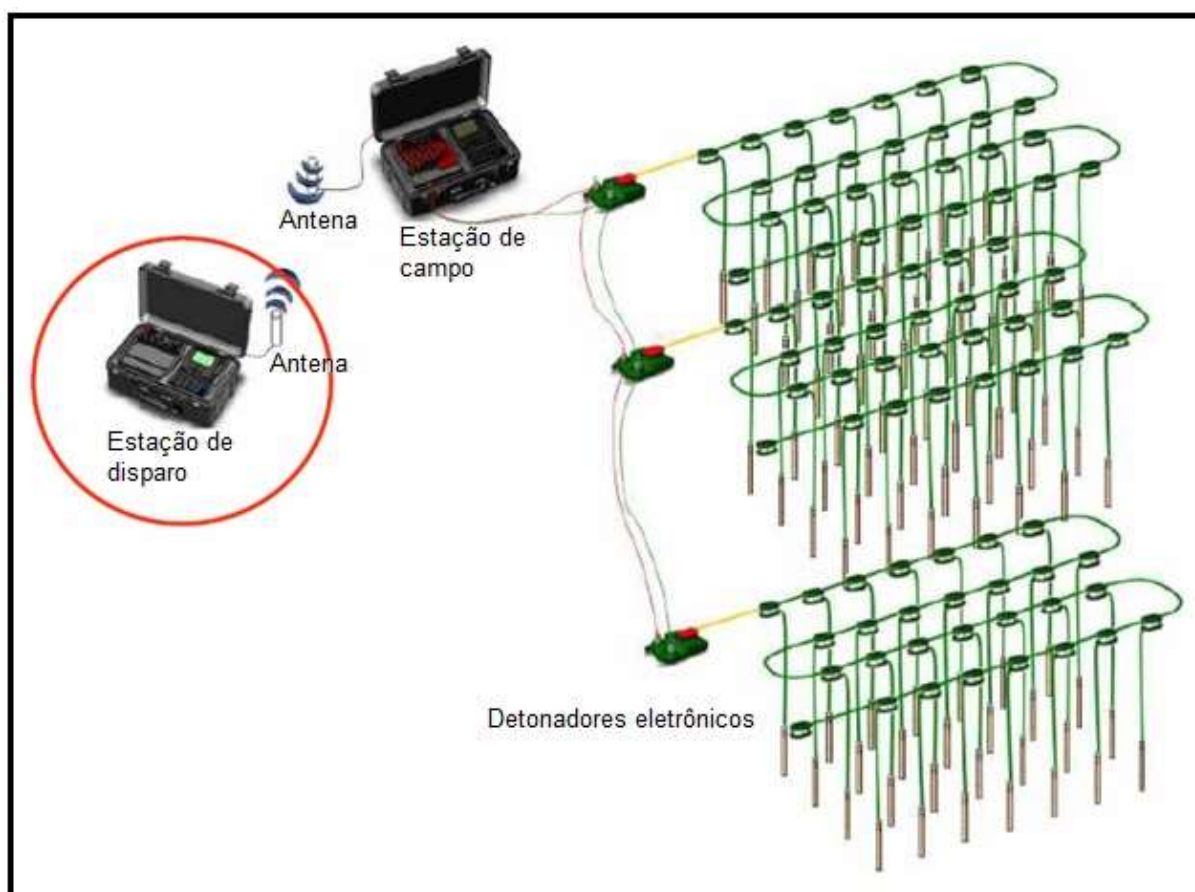


Figura 28 - Sistema eletrônico de disparo (Manual Smartshot, 2008).

3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

3.1 O Uso de Softwares de Análise Estrutural como Ferramenta no Planejamento de Demolições com Uso de Explosivos

O objetivo desse capítulo é sugerir o uso de softwares de análise estrutural por meio de elementos finitos, no intuito de se obter, com mais precisão, na estrutura de concreto armado que se pretende demolir, a localização dos pontos mais adequados para a colocação das cargas explosivas e também facilitar o dimensionamento dessas cargas.

Através do uso de um software de análise estrutural, simulou-se uma edificação hipotética com 04 pavimentos, de acordo com Figura 29.

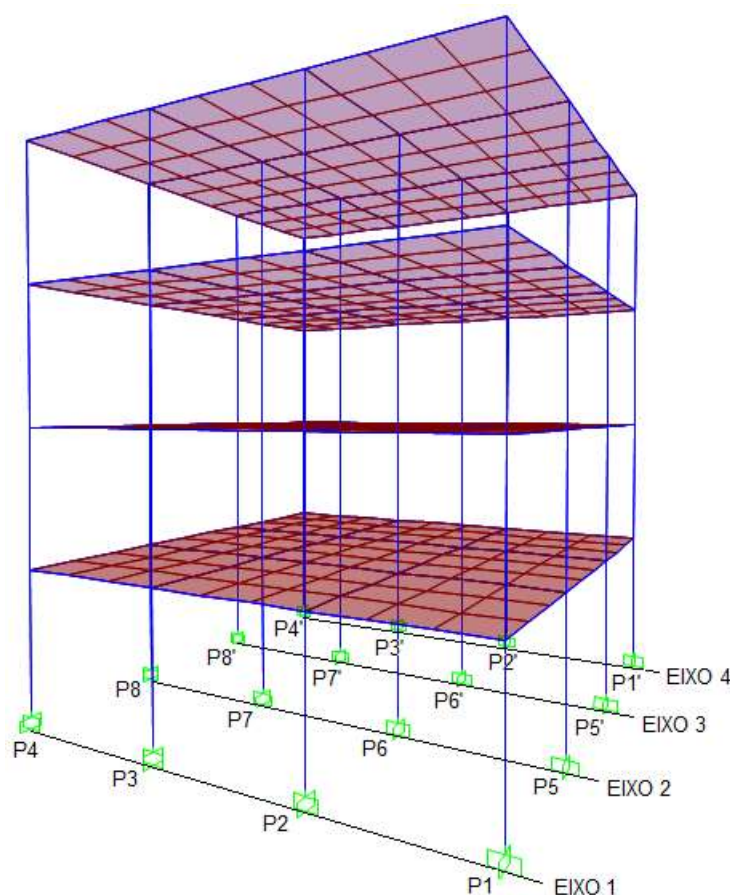


Figura 29 - Pórtico reticular representando uma edificação hipotética de 04 pavimentos, em três dimensões.

A estrutura representada pela Figura 29 foi idealizada segundo a descrição a seguir:

- Número de pilares = 16 por pavimento, todos com a mesma configuração e mesmo espaçamento entre eles.
- Seção transversal dos pilares = $20\text{cm} \times 20\text{cm} = 400\text{cm}^2$.
- F_{ck} dos pilares = 30 Mpa.
- Sobrecarga = 10kN/m^2 , em cada pavimento.
- Área dos pavimentos = $9\text{m} \times 9\text{m} = 81\text{m}^2$, em cada pavimento.
- Pé direito = 2,60m.

Na sequência, o programa apresentou graficamente, em três dimensões, a distribuição dos esforços axiais atuantes em cada um dos pilares da estrutura, conforme figura 30.

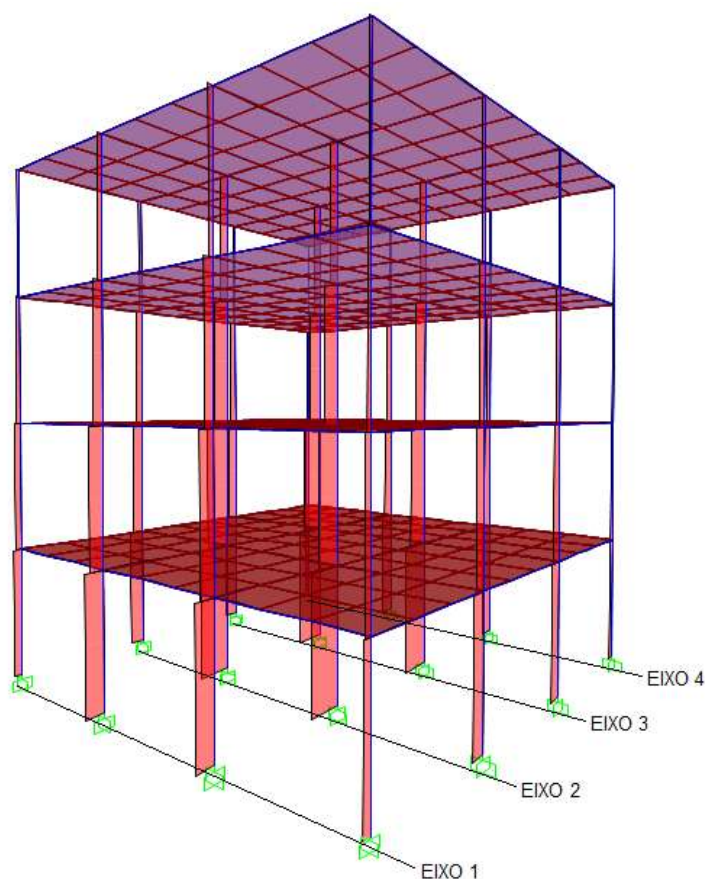


Figura 30 - Distribuição dos esforços axiais nos pilares da estrutura.

Para uma análise mais detalhada dos esforços axiais atuantes nos pilares da base da estrutura, são apresentados na Figura 31 e na Figura 32, os valores desses esforços em cada pilar.

A Figura 31, mostra os valores dos esforços nos pilares da base ao longo dos eixos 1 e 4. Devido à simetria da estrutura em questão, os esforços sobre os pilares ao longo do eixo 1 apresentam, exatamente, os mesmos valores com relação a distribuição de esforços uniaxiais ao longo dos pilares do eixo 4.

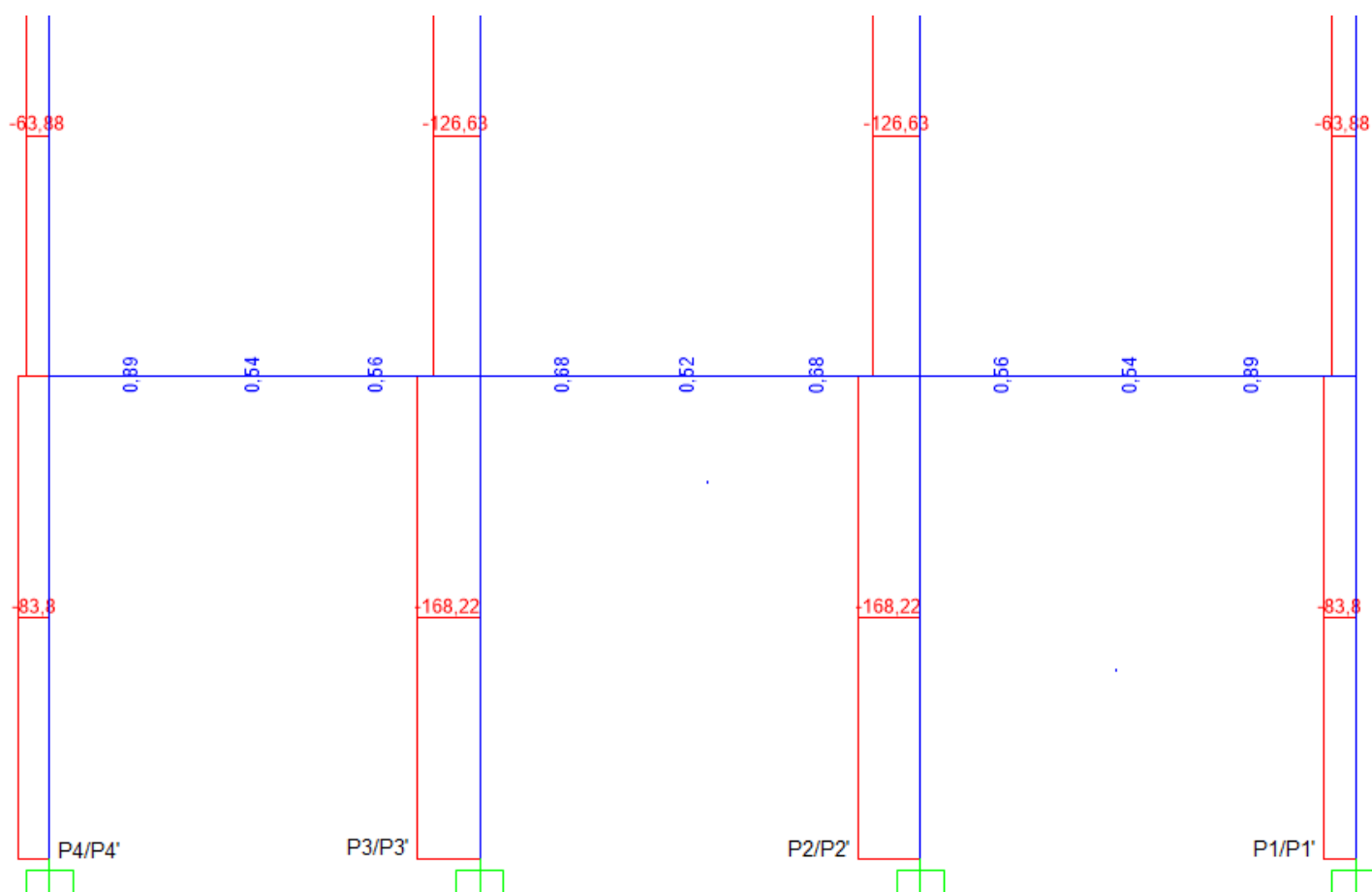


Figura 31 - Diagrama com valores dos esforços axiais atuantes nos pilares da base ao longo dos eixos 1 e 4.

Já na Figura 32, também por uma questão de simetria da estrutura, os valores dos esforços nos pilares da base ao longo do eixo 2 apresentam os mesmos valores em relação aos pilares da base ao longo do eixo 3.

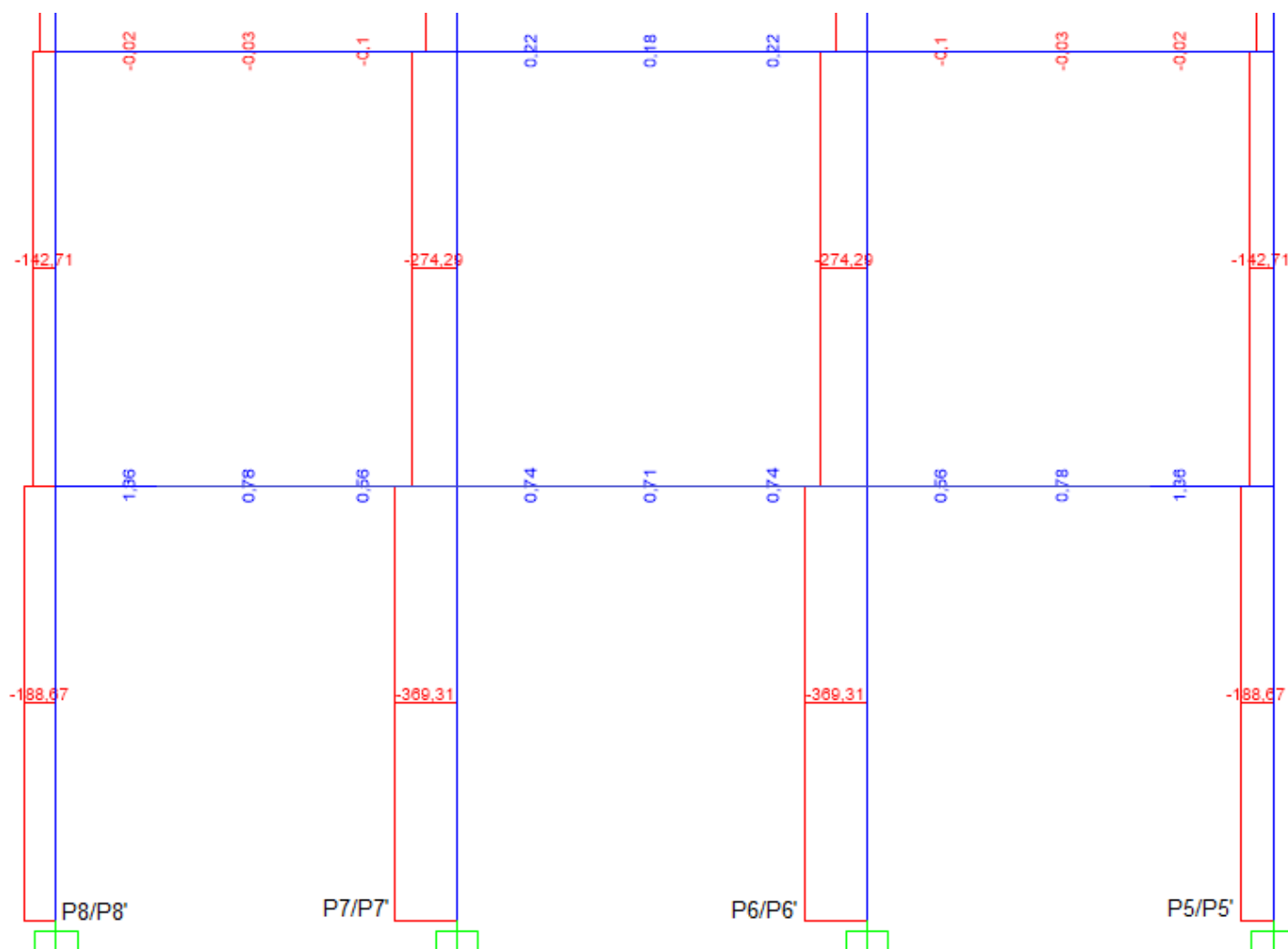


Figura 32 - Diagrama com valores dos esforços axiais atuantes nos pilares da base ao longo dos eixos 2 e 3.

A estrutura, em modelo tridimensional, mostrada até aqui é hiperestática, segundo a definição de hiperestaticidade já apresentada nesta dissertação. A partir dessa estrutura, foi proposta a retirada de quatro pilares centrais do andar térreo para simular um dano a esses pilares e, a partir daí, com base na redistribuição das cargas por meio dos caminhos alternativos, analisar os novos valores dos esforços sobre cada um dos pilares remanescentes na base.

A redistribuição dos esforços, que já foi mencionado anteriormente, se baseia no comportamento das estruturas hiperestáticas. Essas estruturas são dimensionadas de forma a suportar a perda de elementos estruturais sem que haja o colapso progressivo imediato. Isso acontece porque os esforços que atuavam nos elementos que foram retirados são redistribuídos, sendo transmitidos às fundações por meio de outros elementos estruturais que fazem parte da mesma estrutura.

A Figura 33 mostra, em três dimensões, a redistribuição dos esforços uniaxiais atuantes em cada um dos pilares da estrutura, após a retirada dos pilares centrais da base.

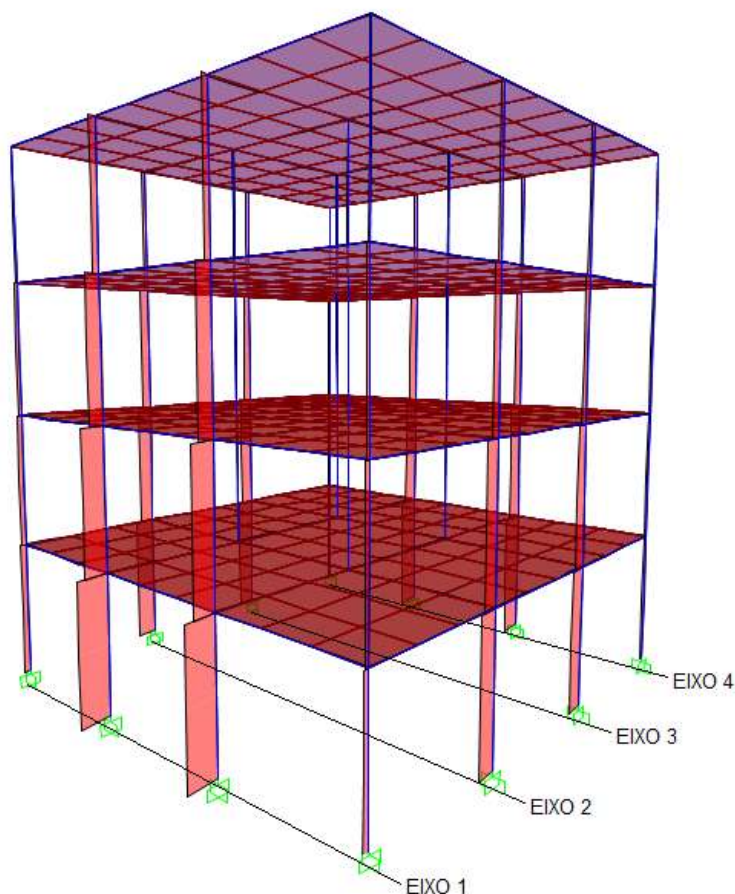


Figura 33 - Distribuição dos esforços uniaxiais nos pilares da estrutura, após a retirada dos pilares centrais da base.

A retirada proposital dos pilares centrais da base tem o objetivo de simular a detonação destes por meio de explosivos. Essa detonação ocorre no primeiro momento da demolição de uma estrutura de concreto armado, onde se pretende aplicar a técnica de queda vertical da estrutura. Essa técnica se aproveita do fenômeno do colapso estrutural progressivo, que foi apresentado no tópico 2.2 desta dissertação, e o induz, de forma deliberada, através da detonação de determinados elementos estruturais para provocar a demolição controlada de toda a estrutura.

Em contato direto com o Engenheiro Mecânico Marcus Carvalho Vilela, que trabalhou na obra de demolição dos Edifícios Portugal e Espanha, ocorrida no dia 20

de abril de 1998, em São José do Rio Preto, São Paulo, foi relatado que se utilizou o mecanismo de colapso progressivo da estrutura, na execução desta demolição.

Segundo Marcus, detonando no primeiro instante os pilares do centro da estrutura, foi gerado um vão de 1,5 metros ao longo do comprimento desses pilares, o que fez com que o centro do edifício iniciasse um movimento descendente vertical como consequência da ação da gravidade. Na sequência, foram detonadas cargas menores nos encontros entre os pilares das laterais e as vigas que os ligavam ao centro da estrutura. Essas cargas foram dimensionadas de forma a não danificar as ferragens no interior desses elementos estruturais, eliminando apenas a rigidez do engaste. Isso fez com que, os apoios que antes eram de terceiro gênero fossem transformados em articulações. O movimento do centro do edifício, por sua vez, ao ser transferido pelas vigas tracionou as articulações geradas e essas puxaram os pilares das laterais para o centro, favorecendo o colapso da estrutura que por fim veio ao chão.

Fuentes (2011), também comenta sobre a importância, nesse tipo de demolição, de preservar as ferragens ao detonar determinados elementos estruturais, para proporcionar o tracionamento das estruturas laterais. Além disso, Fuentes (2011) também reforça a necessidade do correto dimensionamento das cargas, principalmente nas laterais das estruturas que serão demolidas, não somente visando a correta demolição da estrutura, mais também o controle do risco de projeções que podem ser lançadas além do limite de segurança, devido ao sobre dimensionamento das cargas explosivas nesses pontos.

Assim, no intuito de se determinar, com mais precisão, a localização das cargas explosivas laterais e as quantidades de explosivo de cada uma dessas cargas, o presente tópico sugere usar a simulação computacional, para analisar a redistribuição dos esforços sobre os pilares laterais da base da estrutura, após a retirada dos pilares do centro da base. Dessa forma, se valendo dos valores obtidos após a redistribuição dos esforços, pode-se maximizar as cargas explosivas nos pilares menos sobrecarregados e minimizar essas cargas nos pilares mais sobrecarregados.

A Figura 34, mostra os valores dos esforços nos pilares da base ao longo dos eixos 1 e 4, após a retirada dos pilares do centro.

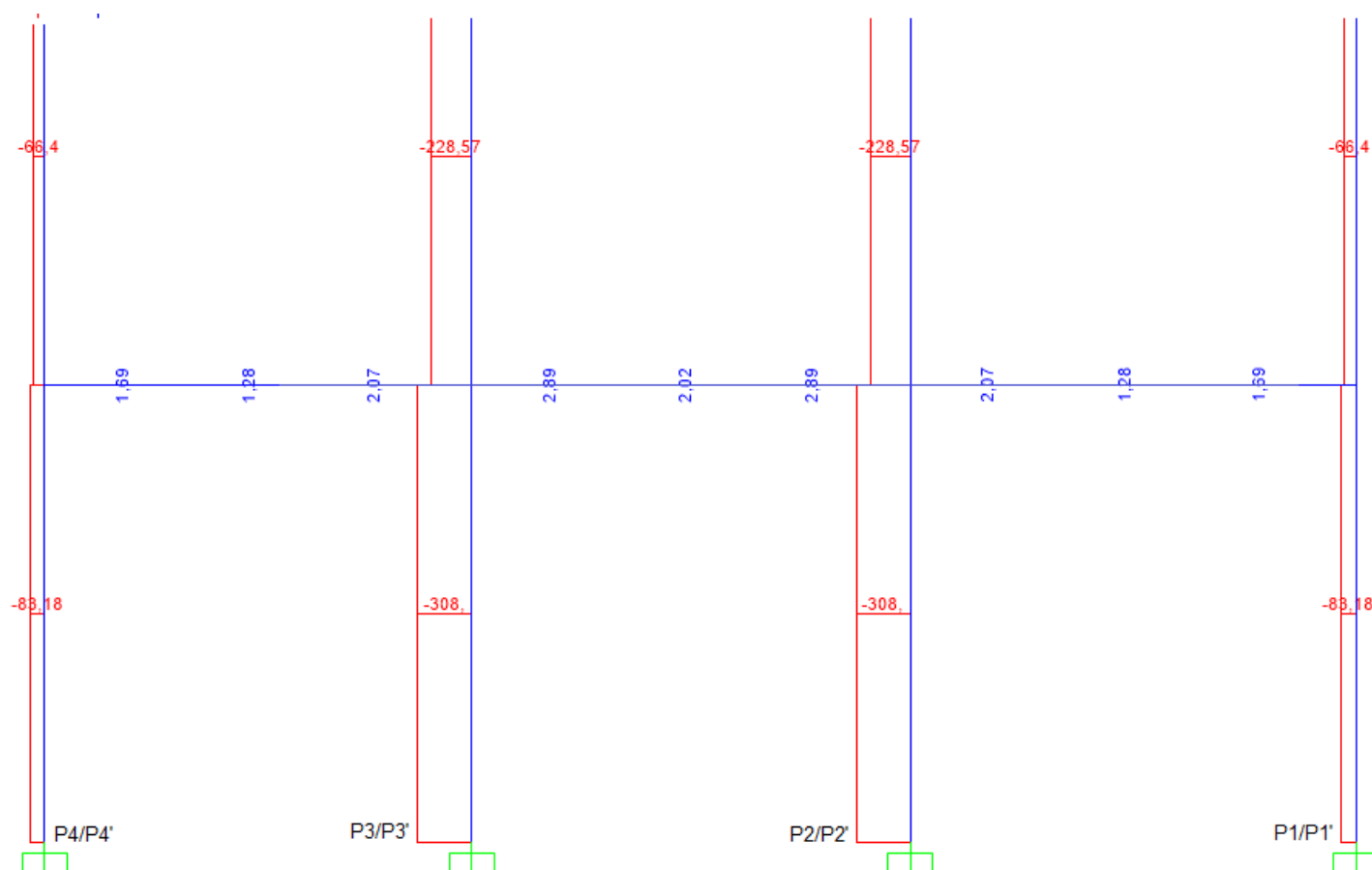


Figura 34 - Diagrama com valores dos esforços axiais redistribuídos nos pilares da base ao longo dos eixos 1 e 4, após a retirada dos pilares do centro da estrutura.

Comparando os valores apresentados nos diagramas das Figuras 31 e 34, vê-se que ocorreu uma alteração significativa na intensidade dos esforços incidentes sobre os pilares P2/P2' e P3/P3', devido a retirada dos pilares do centro da base da estrutura, conforme expresso na Tabela 5. Já com relação a intensidade dos esforços atuantes nos pilares P1/P1' e P4/P4', não ocorreu nenhuma alteração significativa.

Tabela 4 - Esforços sobre os pilares P2/P2' e P3/P3', com e sem os pilares do centro da base da estrutura.

	Esforços sobre os pilares laterais em KN	
	Com os pilares do centro	Sem os pilares do centro
P1/P1'	83,80	83,18
P2/P2'	168,22	308,0
P3/P3'	168,22	308,0
P4/P4'	83,80	83,18

A Figura 35, mostra os valores dos esforços nos pilares da base ao longo dos eixos 2 e 3, após a retirada dos pilares do centro.

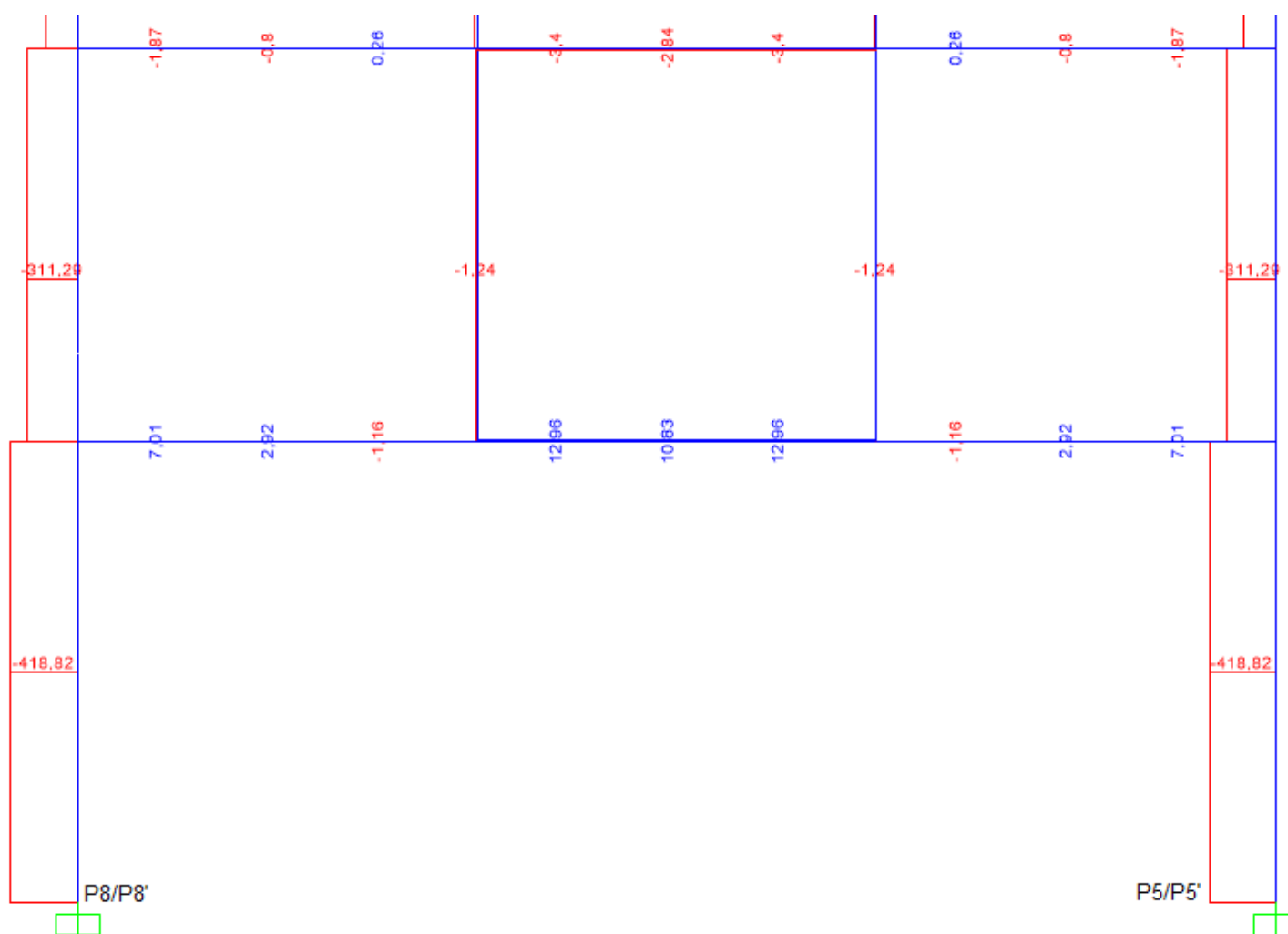


Figura 35 - Diagrama com valores dos esforços axiais redistribuídos nos pilares da base ao longo dos eixos 2 e 3, após a retirada dos pilares do centro da estrutura.

Comparando os valores apresentados nos diagramas das Figuras 32 e 35, vê-se que ocorreu uma alteração significativa na intensidade dos esforços incidentes sobre os pilares P5/P5' e P8/P8', devido a retirada dos pilares do centro da estrutura, conforme expresso na Tabela 6.

Tabela 5 - Esforços sobre os pilares P5/P5' e P8/P8', com e sem os pilares do centro da estrutura.

	Esforços sobre os pilares laterais em KN	
	Com os pilares do centro	Sem os pilares do centro
P5/P5'	188,67	418,82
P8/P8'	188,67	418,82

A partir dos valores expressos nas tabelas 5 e 6, pode-se observar que os pilares P1/P1' e P4/P4', localizados nas esquinas da estrutura, não receberam nenhuma sobrecarga, devido a redistribuição dos esforços, após a retirada dos pilares do centro da base. Já os pilares P2/P2' e P3/P3', ao longo dos eixos 1 e 4, e os pilares P5/P5' e P8/P8', ao longo dos eixos 2 e 3, sofreram uma sobrecarga significativa.

Assim, com base no exposto até então, propõe-se que nos pilares P1/P1' e P4/P4', que não sofreram sobrecarga, pode-se trabalhar com cargas explosivas maiores, já nos pilares P2/P2', P3/P3', P5/P5' e P8/P8', que se encontram sobrecarregados pelos esforços extras, pode-se trabalhar com cargas explosivas menores, posto que a própria sobrecarga a qual estes pilares foram submetidos irá contribuir para seu rompimento, no momento da demolição.

É importante salientar que o estudo proposto neste tópico da dissertação é apenas introdutório e não envolve todas as variáveis e fatores intrínsecos a esse tipo de obra, pois se trata de uma análise estática linear incompleta. Um estudo mais abrangente da arte de demolir estruturas de concreto armado por meio de explosivos, exige o implemento de análises estáticas mais complexas.

4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

4.1 Conclusões

Conforme foi mencionado na introdução desta dissertação, em todo o mundo, cresce o número de estruturas e edifícios que precisam ser demolidos, quer seja por motivos de reestruturação urbanística, por questões de mobilidade, por motivos de segurança ou simplesmente pelo fato de a vida útil daquela estrutura ter chegado ao fim.

Aliado a isso, as empresas que realizam serviços de demolição de estruturas, em geral, demonstram especial interesse na técnica de demolição com uso de explosivos, principalmente por se tratar de uma alternativa mais econômica, rápida e prática quando comparada à outras técnicas de demolição, em especial no caso de estruturas de grande porte.

No entanto, por ser uma técnica complexa e que envolve muita responsabilidade, é de fundamental importância o estudo dos conceitos e procedimentos operacionais, sobretudo devido à escassez de literatura sobre o tema.

Desta forma, o presente trabalho visou contribuir com o desenvolvimento das técnicas usadas durante a etapa de planejamento dos trabalhos de demolição, sugerindo o uso de softwares de análise estrutural.

Ainda que, neste trabalho, a proposta de simulação tenha se limitado a uma análise estática, a partir dela conseguiu-se identificar possíveis pontos de fraqueza da estrutura, que surgem durante o processo de detonação. Essa vulnerabilidade ocorre em determinados pontos que são sobrecarregados imediatamente após a detonação dos pilares centrais da estrutura, devido a redistribuição dos esforços. Assim, prevendo-se essa sobrecarga através da simulação computacional, objetiva-se contribuir com o dimensionamento das cargas explosivas e seu posicionamento.

Para finalizar, nos anexos A e B deste trabalho apresentou-se um exemplo de plano de fogo para a demolição, por tombamento, de um edifício de concreto armado, mostrando-se em planta baixa a localização dos pilares atacados e a direção de queda planejada. Já no anexo C, foram apresentados os documentos exigidos pelos órgãos competentes, de forma a cumprir com os requisitos legais necessários à execução desse tipo de obra.

4.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Algumas sugestões para dar continuidade ao estudo do tema em questão em trabalhos futuros são listadas abaixo:

- (i) Levantar na literatura acadêmica nacional e internacional, os diferentes mecanismos de demolição por explosivos, os tipos de explosivos e sistemas de iniciação utilizados, analisando quais os mais adequados para cada mecanismo.
- (ii) Realizar demolições piloto em experimentos de campo, com o intuito de avaliar de forma prática a interação entre energia produzida pela carga explosiva e os danos gerados ao elemento estrutural submetido a essa energia.
- (iii) Identificar os principais impactos resultantes deste tipo de demolição e a forma como estes impactos podem ser controlados e minimizados.
- (iv) Através da compilação de dados obtidos em trabalhos e experimentos de campo, fazer uma análise estatística destes dados, no intuito de montar gráficos e tabelas que relacionem a razão de carga adequada para romper um elemento estrutural, em função de dados construtivos do elemento como: f_{ck} do concreto utilizado, área de seção transversal e área de seção transversal de ferragem.
- (v) Com base na metodologia proposta pelo artigo da GSA (General Services Administration) de junho de 2003, e utilizando um software de análise estrutural, aplicar a Relação Demanda-Capacidade para analisar o limite de ruptura dos pilares de um edifício, em um projeto de demolição por explosivos deste edifício (GSA, 2003).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.C.F. **Estruturas isostáticas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- ALONSO, J.B. **Fundamentos de Diseño de Voladuras**. Madrid: Fundación Gómez-Pardo, 2007.
- ARAÚJO, J.M. **Curso de concreto armado**. v.1, 4.ed. Rio Grande: Dunas, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- BARROS, D.P. **Explosivos, artificios e agressivos químicos**. Lisboa, Portugal: Academia Militar, 1984.
- BASTOS, P.S.S. **Fundamentos do concreto armado**. 2006. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf> Acesso: junho/2017.
- BAZANTE, A.J.; BONATES, E.J.L.; ARAÚJO, G.J.L. A aplicação de espoleta eletrônica de rochas com explosivos. In: **III Congresso Brasileiro de Minas a Céu Aberto**, 2004, Minas Gerais, 2004.
- BENTO, D.A. **Fundamentos de resistência dos materiais**. Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe0xEAL/fundamentos-resistencia-dos-materiais> Acesso: junho/2017.
- BRANCÃO, L.O. **Clinquer**. 2011. Disponível em: <http://blogdocumento.blogspot.com.br/2011/06/clinquer-fonte-eng-helio-farenzena.html> Acesso: junho/2017.
- BRASIL. Decreto nº 3.665, de 20 de novembro de 2000. **Regulamento para a fiscalização de produtos controlados (r-105)**. 2000.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. **DNIT 027/2004**. Drenagem - demolição de dispositivos de concreto. 4p. 2004. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit027_2004_es.pdf Acesso: junho/2017.
- BRITANITE. **Guia de produtos Britanite**, 2013.
- BRITANITE. **Manual de Blaster Britanite**, 2008.
- CATÁLOGO MAXAM BRASIL, 2017 Disponível em: <http://explofort.com.br/wp-content/uploads/2016/08/catalogo-maxam.pdf> Acesso: junho/2017.
- DETEX. Desmorte Técnico com Explosivos LTDA. **Contrato** de Prestação de Serviço, 2012.
- ELLINGWOOD, B.R.; et al. **NISTIR 7396**. USA: National Institute of Standards and Technology, 2007.

FARENZENA, H. **Clinquer**. 2011. Disponível em: <http://blogdocumento.blogspot.com.br/2011/06/clinquer-fonte-eng-helio-farenzena.html> Acesso: junho/2017.

FEMA. **Federal Emergency Management Agency**. 2002. Disponível em: <http://www.wrc.noaa.gov/wrso/oep-coop/fpc-65.pdf> Acesso: junho/2017

FUENTES, E.L. **Demoliciones por voladura**. Espanha: Fueyo Editores, 2011. 362 pg.

HOLLANDA, G. **Curso de formação e reciclagem de Blaser**. Recife: Consultoria e treinamento em desmonte de Rocha, 2016.

JIMENO, E.L.; JIMENO, C.L.; BERMUDEZ, P.G. **Manual de Perforación y Voladura de Rocas**. 2ª Edição. Espanha: ITGE, 2003.

JORNAL O GLOBO, 17 de novembro 1975.

KENNETH, M.L.; et al. **Fundamentos da análise estrutural**. Tradução: João Eduardo Nóbrega. 3. ed. Porto Alegre : AMGH, 2009.

KIM, H-S.; KIM, J.E.AN. **Development of Integrated System for progressive collapse analysis of building structures considering dynamics effects**. Advances in Engineering Software v.40, pp.1-8, 2009.

LARANJEIRAS, A. C. R. **Colapso Progressivo de Edifícios**. Associação Brasileira de Engenheiros Civis - ABENC. Publicação Informativa. 2010.

LU, X.; LIN, X.; YE, L. **Simulation of Structural Collapse with Coupled Finite Element-Discrete Element Method**. Proc. Computational Structural Engineering, pp. 22-24, 2009.

MANUAL SMARTSHOT. **Procedimiento General**. Sistema de Detonadores Electrónicos, 2008.

MARTHA, L.F. **Métodos Básicos da Analise de Estruturas**. 2010. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAf11gAE/metodos-basicos-analise-estruturas-luiz-fernando-martha> Acesso: junho/2017.

OLIVEIRA, C.E.M.; SILVEIRA, R.A.M.; SOUSA JR, J.B.M. **Métodos e parâmetros da análise do colapso progressivo de edifícios**. CILAMCE 2011 – XXXII Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, Ouro Preto, MG, v. 1, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/296193623_METODOS_E_PARAMETROS_DA_ANALISE_DO_COLAPSO_PROGRESSIVO_DE_EDIFICIOS Acesso: junho/2017.

PINTO, E.O. **Substâncias Explosivas e Químicas**. 1ª Parte Noções Rudimentares. Lisboa: Academia Militar, 1958.

SANCHIDRIAN, J.A.; MUNIZ, E. **Curso de tecnologia de explosivos**. Madrid: Fundación Gómez-Pardo, 2003.

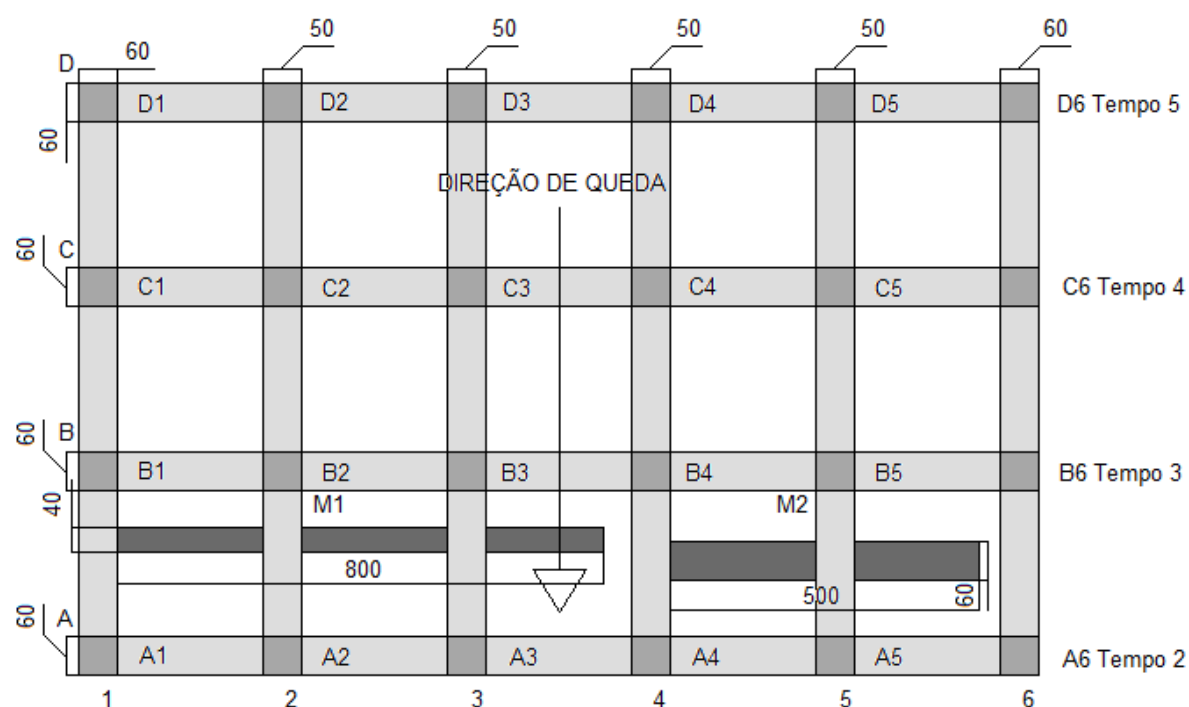
SAP 2000. **Static and Dynamic** Finite Element Analysis of Structure, 18.2.0, Computers and Structures, Inc., 2016.

SILVEIRA, R.A.M. **Métodos e parâmetros da análise do colapso progressivo de edifícios**. 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/296193623>
Acesso: junho/2017.

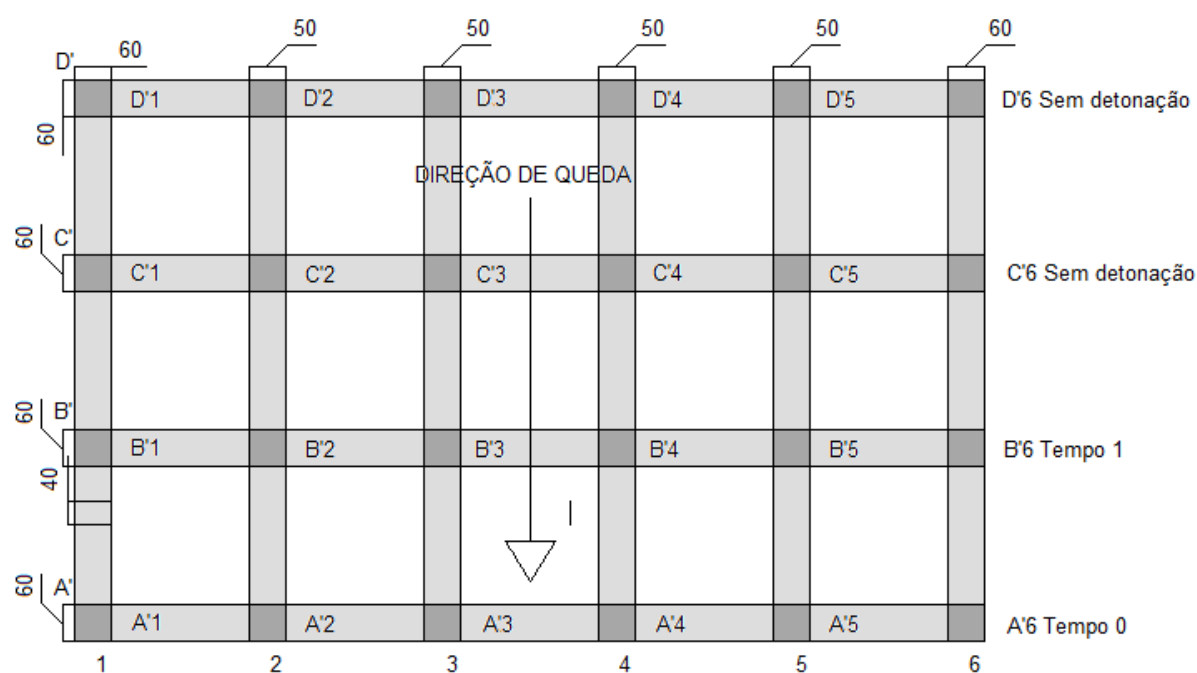
SOUZA JÚNIOR, T.F. **Estruturas de concreto armado**: notas de aulas. Lavras: Departamento de Engenharia, 2004.

SOUZA JUNIOR, T.F. Tecnologia e qualidade do material concreto nas construções agroindustriais. 2004. **Tese de Doutorado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil.

ANEXO A – PLANTAS BAIXAS



Planta baixa do andar térreo



Planta baixa do primeiro andar

PLANO DE FOGO DO PRIMEIRO ANDAR (LINHA B')											
ANDAR	PRIMEIRO										
LINHA DE PILARES	PRIMEIRO B'									VALORES TOTAIS DA LINHA B'	
Localização do pilar	PRIMEIRO B' 1	PRIMEIRO B' 2	PRIMEIRO B' 3	PRIMEIRO B' 4	PRIMEIRO B' 5	PRIMEIRO B' 6					
Largura do pilar (a) (m)	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60					
Comprimento do pilar (b) (m)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60					
Explosivo selecionado	Riodin	Riodin	Riodin	Riodin	Riodin	Riodin					
Diâmetro do cartucho (mm)	26	26	26	26	26	26					
Comprimento do cartucho (mm)	400	400	400	400	400	400					
Massa do cartucho (g)	300	300	300	300	300	300					
Fragão do cartucho	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/4					
Comprimento da fragão (mm)	100,00	133,33	133,33	133,33	133,33	100,00					
Massa da fragão (g)	75,00	100,00	100,00	100,00	100,00	75,00					
Comprimento dos furos (m)	0,35	0,37	0,37	0,37	0,37	0,35					
Comprimento do tampão (m)	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	0,25					
Número de linhas de furos	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00					
Afastamento entre linhas de furos (m)	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15					
Espaçamento entre furos de mesma linha (m)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40					
Número de furos por linha (und)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00					
Altura de corte (m)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80					
Número de furos por pilar (und)	6,00	4,00	4,00	4,00	4,00	6,00					28,00
Comprimento perfurado por pilar (m)	2,10	1,47	1,47	1,47	1,47	2,10					10,08
Massa total de explosivo por pilar (Kg)	0,45	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45					2,50
Volume de corte (m ³)	0,29	0,24	0,24	0,24	0,24	0,29					1,54
Consumo específico de explosivo (Kg/m ³)	1,56	1,67	1,67	1,67	1,67	1,56					
Sequência de disparo - retardos de 30ms	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
Nº de Detonadores por pilar com tempo 0											
Nº de Detonadores por pilar com tempo 1	6	4	4	4	4	6					Total de detonadores instantâneos 0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 2											Total de detonadores 1 (30ms) 28,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 3											Total de detonadores 2 (60ms) 0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 4											Total de detonadores 3 (90ms) 0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 5											Total de detonadores 4 (120ms) 0,00
											Total de detonadores 5 (150ms) 0,00
Nº de fragões de 1/2											Total de fragões de 1/2 0,00
Nº de fragões de 1/3		4,00	4,00	4,00	4,00						Total de fragões de 1/3 16,00
Nº de fragões de 1/4	6,00										Total de fragões de 1/4 12,00
Nº de fragões de 1/5											Total de fragões de 1/5 0,00
Nº de fragões de 1/6											Total de fragões de 1/6 0,00

TOTAIS DO PRIMEIRO ANDAR	
Número de furos do andar (und)	70,00
Comprimento total perfurado no andar (m)	25,17
Massa total de explosivo usado no andar (Kg)	6,25
Nº de frações de 1/2	0,00
Nº de frações de 1/3	40,00
Nº de frações de 1/4	30,00
Nº de frações de 1/5	0,00
Nº de frações de 1/6	0,00
Ramais de cordão detonante de 40g/m de 5,0m	0,00
Comprimento total de cordão detonante de 40g/m (m)	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 0	42,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 1	28,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 2	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 3	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 4	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 5	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 6	0,00
Total de detonadores	70,00

PLANO DE FOGO DO TÉRREO (LINHA A)									
ANDAR	TÉRREO								
LINHA DE PILARES	TÉRREO A							VALORES TOTAIS DA LINHA A	
Localização do pilar	TÉRREO A 1	TÉRREO A 2	TÉRREO A 3	TÉRREO A 4	TÉRREO A 5	TÉRREO A 6			
Comprimento do pilar (a) (m)	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60			
Comprimento do pilar (b) (m)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60			
Explosivo selecionado	Riodin	Riodin	Riodin	Riodin	Riodin	Riodin			
Diâmetro do cartucho (mm)	26	26	26	26	26	26			
Comprimento do cartucho (mm)	400	400	400	400	400	400			
Massa do cartucho (g)	300	300	300	300	300	300			
Fração do cartucho	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/4			
Comprimento da fração (mm)	100	133,33	133,33	133,33	133,33	100			
Massa da fração (g)	75,00	100	100	100	100	75,00			
Comprimento dos furos (m)	0,35	0,37	0,37	0,37	0,37	0,35			
Comprimento do tampão (m)	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	0,25			
Número de linhas de furos	3	2	2	2	2	3			
Afastamento entre linhas de furos (m)	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15			
Espeçamento entre furos da mesma linha (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4			
Número de furos por linha (und)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00			
Altura de corte (m)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00			
Número de furos por pilar (und)	15,00	10,00	10,00	10,00	10,00	15,00			70,00
Comprimento perfurado por pilar (m)	5,25	3,70	3,70	3,70	3,70	5,25			25,30
Massa total de explosivo por pilar (Kg)	1,13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,13			6,26
Volume de corte (m ³)	0,72	0,6	0,6	0,6	0,6	0,72			3,84
Consumo específico de explosivo (Kg/m ³)	1,56	1,67	1,67	1,67	1,67	1,56			
Sequência de disparo - retardos de 30ms	0,00	0	0	0	0	0,00			
Nº de Detonadores por pilar com tempo 0								Total de detonadores instantâneos	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 1								Total de detonadores 1 (30ms)	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 2	15,00	10,00	10,00	10,00	10,00	15,00		Total de detonadores 2 (60ms)	70,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 3								Total de detonadores 3 (90ms)	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 4								Total de detonadores 4 (120ms)	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 5								Total de detonadores 5 (150ms)	0,00
Nº de frações de 1/2								Total de frações de 1/2	0,00
Nº de frações de 1/3		10,00	10,00	10,00	10,00			Total de frações de 1/3	40,00
Nº de frações de 1/4	15,00					15,00		Total de frações de 1/4	30,00
Nº de frações de 1/5								Total de frações de 1/5	0,00
Nº de frações de 1/6								Total de frações de 1/6	0,00

PLANO DE FOGO DO TÉRREO (LINHA B)										
ANDAR	TÉRREO						VALORES TOTAIS DA LINHA B			
LINHA DE PILARES	TÉRREO B									
Localização do pilar	TÉRREO B 1						TÉRREO B 2			
Localização do pilar	TÉRREO B 1						TÉRREO B 2			
Comprimento do pilar (a) (m)	0,60						0,50			
Comprimento do pilar (b) (m)	0,60						0,60			
Explosivo selecionado	Riodin						Riodin			
Diâmetro do cartucho (mm)	26						26			
Comprimento do cartucho (mm)	400						400			
Massa do cartucho (g)	300						300			
Fragão do cartucho	1/4						1/3			
Comprimento da fragão (mm)	100,00						133,33			
Massa da fragão (g)	75,00						100,00			
Comprimento dos furos (m)	0,35						0,37			
Comprimento do tampão (m)	0,25						0,23			
Número de linhas de furos	3,00						2,00			
Afastamento entre linhas de furos (m)	0,15						0,17			
Espaçamento entre furos da mesma linha (m)	0,40						0,40			
Número de furos por linha (und)	3,00						3,00			
Altura de corte (m)	1,20						1,20			
Número de furos por pilar (und)	9,00						6,00			
Comprimento perfurado por pilar (m)	3,15						2,22			
Massa total de explosivo por pilar (Kg)	0,68						0,60			
Volume de corte (m ³)	0,43						0,36			
Consumo específico de explosivo (Kg/m ³)	1,56						1,67			
Sequência de disparo - retardos de 30ms	0,00						0,00			
Nº de Detonadores por pilar com tempo 0										
Nº de Detonadores por pilar com tempo 1										
Nº de Detonadores por pilar com tempo 2										
Nº de Detonadores por pilar com tempo 3	9,00						6,00			
Nº de Detonadores por pilar com tempo 4										
Nº de Detonadores por pilar com tempo 5										
Nº de fragões de 1/2										
Nº de fragões de 1/3	6,00						6,00			
Nº de fragões de 1/4	9,00									
Nº de fragões de 1/5										
Nº de fragões de 1/6										

PLANO DE FOGO DO TÉRREO (LINHA C)										
ANDAR	TÉRREO						VALORES TOTAIS DA LINHA C			
LINHA DE PILARES	TÉRREO C									
Localização do pilar	TÉRREO C 1	TÉRREO C 2	TÉRREO C 3	TÉRREO C 4	TÉRREO C 5	TÉRREO C 6				
Largura do pilar (a) (m)	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60				
Comprimento do pilar (b) (m)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60				
Explosivo selecionado	Riodin	Riodin	Riodin	Riodin	Riodin	Riodin				
Diâmetro do cartucho (mm)	26	26	26	26	26	26				
Comprimento do cartucho (mm)	400	400	400	400	400	400				
Massa do cartucho (g)	300	300	300	300	300	300				
Fragão do cartucho	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/4				
Comprimento da fragão (mm)	100,00	133,33	133,33	133,33	133,33	100,00				
Massa da fragão (g)	75,00	100,00	100,00	100,00	100,00	75,00				
Comprimento dos furos (m)	0,35	0,37	0,37	0,37	0,37	0,35				
Comprimento do tampão (m)	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	0,25				
Número de linhas de furos	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00				
Afastamento entre linhas de furos (m)	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15				
Espaçamento entre furos da mesma linha (m)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40				
Número de furos por linha (und)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00				
Altura de corte (m)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80				
Número de furos por pilar (und)	6,00	4,00	4,00	4,00	4,00	6,00				
Comprimento perfurado por pilar (m)	2,10	1,48	1,48	1,48	1,48	2,10				
Massa total de explosivo por pilar (Kg)	0,45	0,40	0,40	0,40	0,40	0,45				
Volume de corte (m ³)	0,29	0,24	0,24	0,24	0,24	0,29				
Consumo específico de explosivo (Kg/m ³)	1,56	1,67	1,67	1,67	1,67	1,56				
Sequência de disparo - retardos de 30ms	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Nº de Detonadores por pilar com tempo 0							Total de detonadores instantâneos			0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 1							Total de detonadores 1 (30ms)			0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 2							Total de detonadores 2 (60ms)			0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 3							Total de detonadores 3 (90ms)			0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 4	6	4	4	4	4	6	Total de detonadores 4 (120ms)			28,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 5							Total de detonadores 5 (150ms)			0,00
Nº de fragões de 1/2							Total de fragões de 1/2			0,00
Nº de fragões de 1/3		4,00	4,00	4,00	4,00		Total de fragões de 1/3			16,00
Nº de fragões de 1/4	6,00					6,00	Total de fragões de 1/4			12,00
Nº de fragões de 1/5							Total de fragões de 1/5			0,00
Nº de fragões de 1/6							Total de fragões de 1/6			0,00

PLANO DE FOGO DO TÉRREO (LINHA D) - CORTE										
ANDAR	TÉRREO									
LINHA DE PILARES	TÉRREO D									VALORES TOTAIS DA LINHA D
Localização do pilar	TÉRREO D 1									
Comprimento do pilar (a) (m)	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60			
Comprimento do pilar (b) (m)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60			
Comprimento do pilar (b) (m)	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00			
Comprimento do ramal de cordão detonante (m)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50			
Massa de explosivo em cada ramal (g)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00			
Comprimento dos furos (m)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55			
Comprimento do tampão (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05			
Espacamento entre centro de furos (m)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10			
Número de furos por pilar (und)	5,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00			26,00
Comprimento perfurado por pilar (m)	2,75	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,75			14,30
Massa total de explosivo por pilar (g)	100,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	100,00			520,00
Comprimento do cordão detonante por pilar (m)	2,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50			13,00
Sequência de disparo - retardos de 30ms	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00			
Nº de Detonadores por pilar com tempo 0										0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 1										0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 2										0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 3										0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 4										0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 5	5,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00			26,00

PLANO DE FOGO DO TÉRREO (MUIROS)					
ANDAR	TÉRREO				
LINHIA DE PILARES	TÉRREO MUROS		VALORES TOTAIS DOS MUROS		
Localização do muro	TÉRREO MURO M 1	TÉRREO MURO M 2			
Comprimento do muro (l) (m)	8,00	5,00			
Largura do muro (e) (m)	0,40	0,60			
Explosivo selecionado	Riodin	Riodin			
Diâmetro do cartucho (mm)	26	26			
Comprimento do cartucho (mm)	400	400			
Massa do cartucho (g)	300	300			
Fragão do cartucho	1/3	1/2			
Comprimento da fragão (mm)	133,33	200,00			
Massa da fragão (g)	100,00	150,00			
Comprimento dos furos (m)	0,27	0,4			
Comprimento do tampão (m)	0,13	0,20			
Número de linhas de furos	4,00	4,00			
Afastamento entre linhas de furos (m)	0,40	0,40			
Espaçamento entre furos da mesma linha (m)	0,80	0,80			
Número de furos por linha (und)	9,00	9,00			
Número de furos por muro (und)	36,00	21,00	Número de furos (und)	57,00	
Comprimento perfurado por muro (m)	9,60	8,40	Comprimento perfurado (m)	18,00	
Massa total de explosivo por pilar (Kg)	3,60	3,15	Massa de explosivo (Kg)	6,75	
Altura de corte (m)	1,60	1,60			
Volume de corte (m³)	5,12	4,80	Volume detonado (m³)	9,92	
Consumo específico de explosivo (Kg/m³)	0,70	0,66			
Sequência de disparo - retardos de 30ms	3,00	3,00			
Nº de Detonadores por pilar com tempo 0			Total de detonadores instantâneos	0,00	
Nº de Detonadores por pilar com tempo 1			Total de detonadores 1 (30ms)	0,00	
Nº de Detonadores por pilar com tempo 2			Total de detonadores 2 (60ms)	0,00	
Nº de Detonadores por pilar com tempo 3	36,00	21,00	Total de detonadores 3 (90ms)	57,00	
Nº de Detonadores por pilar com tempo 4			Total de detonadores 4 (120ms)	0,00	
Nº de Detonadores por pilar com tempo 5			Total de detonadores 5 (150ms)	0,00	
Nº de fragões de 1/2		21	Total de fragões de 1/2	21,00	
Nº de fragões de 1/3	36		Total de fragões de 1/3	36,00	
Nº de fragões de 1/4			Total de fragões de 1/4	0,00	
Nº de fragões de 1/5			Total de fragões de 1/5	0,00	
Nº de fragões de 1/6			Total de fragões de 1/6	0,00	

TOTAIS DO TÉRREO	
Número de furos do andar (und)	223,00
Comprimento total perfurado no andar (m)	82,63
Massa total de explosivo usado no andar (Kg)	19,25
Nº de frações de 1/2	21,00
Nº de frações de 1/3	116,00
Nº de frações de 1/4	60,00
Nº de frações de 1/5	0,00
Nº de frações de 1/6	0,00
Ramais de cordão detonante de 40g/m de 5,0m	26,00
Comprimento total de cordão detonante de 40g/m (m)	13,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 0	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 1	0,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 2	70,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 3	99,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 4	28,00
Nº de Detonadores por pilar com tempo 5	26,00
Total de detonadores	223,00

ANEXO C – DOCUMENTOS

RELAÇÃO DOS DOCUMENTOS PARA REALIZAÇÃO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇO

EMPRESA:			
CR Nº		VENCIMENTO DO CR:	
OBJETO:	PRESTAÇÃO DE SERVIÇO		
	VENCIMENTO DA AUTORIZAÇÃO:		

Nº	DOCUMENTOS	OK
01	Requerimento da firma.	
02	Cópia do Certificado de Registro (CR) ou Título de Registro (TR) da empresa requerente (contratada) e da última alteração (se houver).	
03	Cópia do contrato autenticada, entre as firmas contratante e contratada, após reconhecimento de firma.	
04	Cópia da carteira do responsável técnico pela obra (Engenheiro de Minas ou Técnico em Mineração com registro no CREA, de acordo com o COFEA – Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – DECISÃO NORMATIVA Nº 71, DE 14 DE DEZEMBRO DE 2001).	
05	Plano de fogo da obra contratada assinado pelo responsável técnico com registro no conselho (Engenheiro de Minas) – original.	
06	ART original contendo a descrição completa da obra em nome do responsável técnico, com atividade técnica para execução da obra.	
07	Documento de autorização do DNPM, para obras em Pedreiras e Mineradoras.	
08	Declaração da Prefeitura tomando ciência da obra – original ou cópia autenticada.	
09	Declaração da Polícia Civil local, tomando ciência da obra – original ou cópia autenticada.	
10	Comprovante de pagamento da GRU no valor de R\$ 100,00 (nº de ref 207610) – original	
OS ITENS ABAIXO SÃO DE RESPONSABILIDADE DO SFPC/7		CONFERE
11	Cadastrar entrada requerimento no SPED.	
12	Confeccionar e imprimir a Autorização, atentando para detalhes como: data máxima de 06 meses para execução da obra, somente um fornecedor por autz, 01 via (Ch do SFPC, assinado).	
13	Copiar texto do despacho para o Adt Bol. Res nº _____ de _____ / 20____	
14	Após assinado a Autz arquivar uma cópia na pasta da firma.	
15	Encaminhar o original para a firma.	
16	Encaminhar cópia para a OM de vinculação.	

7º RM – SFPC/7

Protocolo nº _____

Em _____ de _____ 20____

REQUERIMENTO PARA SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE DETONAÇÃO

Exmo. Sr. Comandante da 7ª Região Militar

DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda., CR Nº 18114 - 7ª RM, estabelecida à Av. Presidente Castelo Branco, 5858 - Candeias - Jabotão dos Guararapes - PE., inscrita no CNPJ nº 02.494.891/0001-05, telefones: (81) 3469.5140 - celular (81) 8892.1987, e-mail: detex_detex@hotmail.com, representada neste ato, por seu Sócio Diretor, Engenheiro de Minas Raimundo Cronemberger Filho, Cédula de Identidade 20.766 - SSP PL. Vem, pelo presente, requerer a V. Exa. autorização para continuação de prestação de serviços de detonação, de acordo com as condições a seguir.

- Beneficiário:** Construtora Queiróz Galvão S/A, CNPJ 33.412.792/0003-22, Rua Padre Carapuceiro, 733-Boa Viagem-Recife-PE, CEP 51.020-280
- Natureza da Empreitada:** Serviço de demolição de uma Caixa D'água com uso de explosivos.
- Programação:** O serviço será iniciado em 15 / 01 / 2013 com término previsto para 30 (trinta) dias.
- Local onde serão prestados os serviços:** O serviço será executado na área interna da Construtora Queiróz Galvão, situada na Rodovia BR 101 nº 7123 - Km 07 - Dois Irmãos - Recife - PE.
- Local do Armazenamento:** Não serão feito armazenamentos.
- Quantidade de produtos controlados a serem utilizados:**

Nomenclatura do Produto (Anexo 1, do R-105)	Denominação usual	Quantidade (m, unidade, Kg)	Procedência
Dinamite (2090/1/Ex)	Dinamite	25 Kg	IBQ BRITANITE - CR 4922
Acessório (1270/1/Ac Ex)	Cordel detonante	500 m	IBQ BRITANITE - CR 4922
Acessório (0330/1/Ac In)	Espoleta de retardo	100 Und.	IBQ BRITANITE - CR 4922
Acessório (1930/1/Ac In)	Espoletim	10 Und.	IBQ BRITANITE - CR 4922

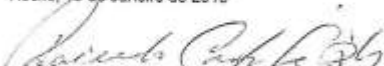
- Responsável pelo fogo:** Eng. de Minas e Segurança do Trabalho Raimundo Cronemberger Filho - CREA 10.266-D / PE

Declaro que a empresa tomará todos os cuidados necessários para garantir a segurança de pessoas e bens patrimoniais, públicos e privados, inclusive quanto ao isolamento do local de fogo, responsabilizando-se por danos causados a terceiros. A empresa também remeterá ao SFPC local, antes de efetuar o serviço de detonação, cópia da autorização recebida, para fins de fiscalização.

Declaro que as informações prestadas são a expressão da verdade, responsabilizando-me pessoalmente por elas nos termos da legislação penal, civil e normativa.

Neste termos,
Pede deferimento

Recife, 15 de Janeiro de 2013



DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda
Raimundo Cronemberger Filho CREA 10.266-PE
Engenheiro de Minas e Segurança do Trabalho

35 01 2013

14:35

[Handwritten signature]

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
COMANDO MILITAR DO NORDESTE
COMANDO DA 7ª REGIÃO MILITAR - 7ª DIVISÃO DE EXÉRCITO
 (Gov das Armas Prov de PE/1821)
REGIÃO MATIAS DE ALBUQUERQUE

AUTORIZAÇÃO ESPECIAL Nº 0422/2013-SFPC/7
(PARA AQUISIÇÃO E EMPREGO DE EXPLOSIVOS)

1. Requerimento datado de 26 de dezembro de 2012, em que a empresa **DETEX - DESMONTE TÉCNICO COM EXPLOSIVOS LTDA**, CNPJ 02.494.891/0001-05, estabelecida na Av Presidente Castelo Branco, 5858, Candeias, Jaboatão dos Guararapes - PE, Certificado de Registro Nº 18114-SFPC/7. Requer autorização para aquisição e uso de produtos controlados.

2. **DESPACHO: DEFERIDO.** Autorizo a aquisição do material abaixo discriminado para emprego imediato, de acordo com a Port 018-D Log, de 07 Nov 2005, nas condições a seguir:

1. **Beneficiário:** CONSTRUTORA QUEIROZ GALVÃO S/A; - CNPJ: 33.412.792/0002 -22;

2. **Natureza da empreitada:** Serviço de desmonte de rocha com uso de explosivos;

3. **Programação prevista:** 21 de janeiro a 21 de julho de 2013;

4. **Local onde será prestado o serviço:** Área interna da Empresa Queiroz Galvão, Rodovia BR 1017123 - Km 07 Dois Irmão Recife PE;

5. **Local de armazenamento:** emprego imediato;

6. **Quantidade de Produtos controlados a serem utilizados;**

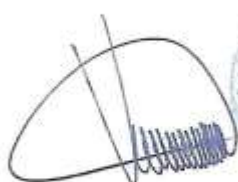
Nomenclatura dos produtos (conforme R-105)	Denominação usual	Quantidade	Procedência
1/1680/Ex	Dinamite	25 kg	IBQ Indústrias Químicas Ltda. CR nº 4922
0030/Ac In	Retardo	500 un	
1300/Ac Ex	Cordel Detonante	100 m	
1930/Ac Ex	Espoletim	10 un	

7. **Responsável técnico:** Engº de Minas RAIMUNDO CRONEMBERGER FILHO, CREA Nº 10.266 D/PE;
Declaração do representante legal da empresa prestadora de serviço: o Sr RAIMUNDO CRONEMBERGER FILHO declarou no requerimento supracitado que adotará todas as precauções que forem necessárias para garantir a segurança de pessoas e evitar danos a bens patrimoniais, públicos e privados, inclusive quanto ao isolamento do local de fogo, responsabilizando-se por eventuais danos que venha a causar a terceiros e que remeterá ao SFPC local, antes de efetuar as detonações e para efeito de uma eventual fiscalização, cópia da presente autorização. Declarou, ainda, que as informações prestadas são a expressão da verdade, responsabilizando-se pessoalmente pelas mesmas, nos termos da legislação penal, civil e de fiscalização de produtos controlados; e
Mapa de consumo de explosivos: deverá ser entregue mensalmente no **SFPC do 10º Brigada de Infantaria Motorizada**, Rodovia BR 232 - Km 10, Curado -Recife -PE - CEP:57.050-000 -,(81) 2129- 6448 - 2129-6429 -email func: ciac10bda@yahoo.com.br

Recife-PE, 22 de janeiro de 2013.

Gen Div MARCELO FLÁVIO OLIVEIRA AGUIAR
 Comandante da 7ª RM - 7ª DE

Por delegação:




VALMAR DA SILVA SEVERIANO - CEL
 Chefe do Serviço de Fiscalização de Produtos Controlados da 7ª RM - 7ª DE

DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda

Ilmo. Sr. Prefeito da cidade do Recife – Estado de Pernambuco

A empresa, DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda., inscrita no CNPJ nº 02.494.891/0001-05, localizada à Av. Presidente Castelo Branco, 5858 – Candeias - Jaboatão dos Guararapes – PE., com Certificado de Registro no Exército Brasileiro de nº 18114 – Div FPC / 7, autorizada a executar serviços de detonações, solicita de V.Sa., emissão de carta na qual conste que esta Prefeitura, está ciente da realização de serviço de detonação com uso de explosivos, para demolição de uma Caixa D'água, na área interna da Construtora Queiróz Galvão S/A, na Rodovia BR 101 nº 7123 – Km 07 – Dois Irmãos – Recife – PE.

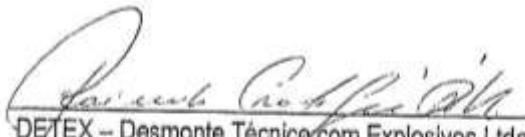
Os serviços serão executados pela empresa: DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda, contratada pela empresa Construtora Queiróz Galvão S/A.

Declaramos que serão tomadas todas as medidas de segurança, no sentido de preservar, bens materiais, patrimoniais e humanos, e que estamos cientes das responsabilidades civil e criminal quanto à execução desses serviços.

Salientamos ainda que, na área a ser detonada deverá haver evacuação de pessoal, assim como a interdição momentânea da Rodovia BR 101 – Km 07, com a convocação antecipada da Polícia Rodoviária Federal na ocasião da realização dos serviços.

Jaboatão dos Guararapes - PE, 09 de novembro de 2012

Atenciosamente


 DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda
 Raimundo Cronemberger Filho – CREA: 10.266/D-PE
 Eng. Minas e Seg.Trabalho




 07-12-12


Prefeitura da Cidade do Recife
Secretaria de Planejamento Participativo,
Urban e Desenvolvimento Urbano e
Arquitetura
www.recife.pe.gov.br

ALVARÁ DE SERVIÇOS SEM REFORMA DA EDIFICAÇÃO

PARA USO DA REPARTIÇÃO
PROTOCOLADO 07.68731.7.12
RECEPÇÃO / DATA 26/11/12
ANEXO TÍT. DE PROPRIEDADE

PREENCHA A MÁQUINA OU LETRA DE FORMA
ANTE CERTIDÃO DO REGISTRO DE IMÓVEIS QUANDO REALIZAR DEMOLIÇÃO TOTAL

3. IMÓVEL IDENTIFICAÇÃO
Lote 23 RECUPERAÇÃO 7123 D. IRAMBOI, RECIFE-PE
21/210
EDIFICAÇÃO: PRÉDIO DE CAIXA D'ÁGUA
TERRENO: TERRENO PRÓPRIO
CÓDIGO: 0101/003/1/19MP020-78X6878

4. PROPRIETÁRIO
CONSTRUTORES OURELOS OLIVEIRA S.A.

5. INTERESSADO
ASSINATURA: Valério Ramos de Almeida
NOME COMPLETO: VALÉRIO RAMOS DE ALMEIDA CMA. CREB. 008469-8/1/E

6. RESPONSÁVEL TÉCNICO
ASSINATURA: Andréa Regina Norberto
NOME COMPLETO: ANDRÉA REGINA NORBERTO
CRA: 4165317/P/E

7. USO
☐ HABITACIONAL ☒ NÃO HABITACIONAL

SUBDIVISÃO	COBERTA	LAJES	ESTRUTURA	ANEXOS
ARMAZÉM/LOJA	/	/	/	/
CIRCULAÇÃO COM.	/	/	/	/
PAREDE/DELAÇÃO	/	/	/	/
SALA/DELAÇÃO	/	/	/	/
TOILETE/DELAÇÃO	/	/	/	/
COZINHA/DELAÇÃO	/	/	/	/
DEPÓSITO/DELAÇÃO	/	/	/	/
QUARTO	/	/	/	/
DELAÇÃO	/	/	/	/
SOMA (m²)	/	/	/	/

8. OUTROS SERVIÇOS
ÁREA (m²): 20,00
OBSERVAÇÕES: DEMOLIÇÃO DE CAIXA D'ÁGUA ELEVADA E DESAPRIVADA

RESPEITAR FIDELMENTE O TÍTULO DE PROPRIEDADE, OS LOGRADOUROS E AS SERVIÇÕES EXISTENTES

ÁREA/RESTAURAÇÃO (m²): 20,00
TOTAL A DEMOLIR (m²): 20,00
TOTAL A CONSTRUIR (m²): -

ALCANTARAL (m): -
ALCANTARAL (m): 2300
TOTAL (m): -

9. ENDEREÇO PARA ANOS
Lote 23 Rua Padre CARAPUCEIRO, 733, RECIFE-PE
7123 D. IRAMBOI, RECIFE-PE
21/210
CEP: 51020-250

PARA USO DA REPARTIÇÃO

10. DECISÃO FINAL
DECISÃO SUPERIOR: Andréa Regina Norberto
Assinatura: Andréa Regina Norberto
NOME COMPLETO: ANDRÉA REGINA NORBERTO
CRA: 4165317/P/E
DATA: 10/01/13

11. GENTE DA FISCALIZAÇÃO
RECEBER O DOCUMENTO
DATA: 10/01/13

DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda

Ilmo. Sr. Delegado de Polícia Civil

A empresa, DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda., inscrita no CNPJ nº 02.494.891/0001-05, localizada à Av. Presidente Castelo Branco, 5858 – Candeias - Jaboatão dos Guararapes – PE., com Certificado de Registro no Exército Brasileiro de nº 18114 – Div FPC / 7, autorizada a executar serviços de detonações, solicita de V.Sa., emissão de carta na qual conste que esta Delegacia, está ciente da realização de serviço de detonação com uso de explosivos, para demolição de uma Caixa D'água, na área interna da Construtora Queiróz Galvão S/A, na Rodovia BR 101 nº 7123– Km 07 – Dois Irmãos – Recife – PE.

Os serviços serão executados pela empresa: DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda, contratada pela empresa Construtora Queiróz Galvão S/A.

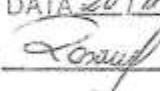
Declaramos que serão tomadas todas as medidas de segurança, no sentido de preservar, bens materiais, patrimoniais e humanos, e que estamos cientes das responsabilidades civil e criminal quanto à execução desses serviços.

Salientamos ainda que, na área a ser detonada deverá haver evacuação de pessoal, assim como a interdição momentânea da Rodovia BR 101 – Km 07, com a convocação antecipada da Polícia Rodoviária Federal na ocasião da realização dos serviços.

Jaboatão dos Guararapes - PE, 09 de novembro de 2012

Atenciosamente


DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda
Raimundo Cronemberger Filho – CREA: 10.266/D-PE
Eng. Minas e Seg.Trabalho

PROTOCOLO-UNIFAL/DIVCAL	
Nº 932	- DATA 20/11/12
Funcionário:	
Mat.:	150.598-2



GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO
POLÍCIA CIVIL DE PERNAMBUCO
GERÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO GERAL
UNIDADE DE FISCALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES LICENCIADAS - UNIFAL



DECLARAÇÃO

A *Unidade de Fiscalização das Atividades Licenciadas – UNIFAL*, subordinada a Gerência de Administração Geral da Polícia Civil do Estado de Pernambuco, declara para os devidos fins que está ciente da realização dos serviços de detonação com uso de explosivos, para demolição de uma caixa d'água, localizada na área interna da Construtora Queiroz Galvão S/A, localizada na Rodovia BR-101, nº 7123, Km 07, bairro Dois Irmãos, Recife-PE, serviço que será executado pela empresa DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda, CNPJ nº 02.494.891/0001-05, detentora do Certificado de Registro nº 18114, emitido pela 7ª Região Militar do Exército Brasileiro, em data de 02.08.2012, que tem validade até 30.04.2014, a qual foi contratada pela Construtora Queiroz Galvão S/A, em data de 08.11.2012, conforme cópia xerográfica anexada ao requerimento.

Recife, 22 de novembro de 2012.

Renivaldo Francisco da Silva
Delegado de Polícia
Mat.: 196.668-5

AUTENTICAÇÃO
CERTIFICADO QUE A PRESENTE Cópia
REPRODUZIU FIDELMENTE O ORIGINAL QUE
FÓI APRESENTADO POR FÉ
NÃO SEDEU EM FÉ DE QUEM
TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE PERNAMBUCO
Selo de Autenticidade
AUTENTICAÇÃO
BMT011538
TOTAL