

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO AO IMPACTO BALÍSTICO

Osnir Martinez de Souza E-mail: ompm1969@gmail.com

Pâmela Herrera Dutra E-mail: pamela-hd@hotmail.com

Resumo: A presente pesquisa é uma revisão bibliográfica, tomada a partir de estudos científicos comprovados e utilizando a análise qualitativa discursiva. O objetivo desse compêndio é oferecer informações atualizadas a profissionais da área da construção civil, quanto a execução de obras que necessitem manter a integridade física de seus ocupantes, sejam estruturas de órgãos governamentais (quartéis, destacamentos, delegacias), segurança privada como guaritas de prédios, ou ainda, paredes de residências próximas a instituições bancárias e/ ou áreas de conflito (comunidades), que estão sujeitas a serem atingidas por disparos de armas de fogo de alto poder destrutivo. Os estudos revisados investigam a resistência do concreto quando submetido à impactos balísticos, e demonstram que a resistência à compressão do concreto, os tipos de agregados e a posição da armadura, contribuem efetivamente para o aumento da resistência do concreto e redução de suas patologias. Além disso, constatou-se que a utilização de fibras de aço, aplicação de armadura de malha de aço na face anterior e posterior, aumento da espessura da alvenaria e da resistência à compressão do concreto, contribuem para que uma resistência a impactos balísticos eventuais seja mais efetiva.

Palavras-chave: Blindagem, Colapso, Perfuração por projétil.

ANALYSIS OF THE STRENGTH OF CONCRETE TO BALLISTIC IMPACT

Abstract: This research is a bibliographic review, based on proven scientific studies and using the discursive qualitative analysis. The objective of this compendium is to provide up-to-date information to construction professionals, regarding the execution of works that need to maintain the physical integrity of their occupants, be they government agencies structures (barracks, detachments, police stations), private security such as guardhouses of buildings, or even walls of residences close to banking institutions and/or conflict areas (communities), which are subject to being hit by shots of high-destructive firearms. The revised studies investigate the strength of concrete when subjected to ballistic impacts, and demonstrate that the compressive strength of concrete, the types of aggregates and the position of the reinforcement, effectively contribute to the increase of concrete resistance and reduction of its pathologies. In addition, it was found that the use of steel fibres, application of steel mesh armature on the front and back face, increased thickness of masonry and compressive strength of concrete, contribute to a more effective resistance to possible ballistic impacts.

Keywords: Armor plating, Collapse, Projectile drilling.

1. Introdução

No cenário brasileiro, apresentam-se cada vez mais frequentes notícias relacionadas a roubos à instituições bancárias, ataques à órgãos de segurança pública e “balas perdidas”, onde seus executores por meio do crime organizado estão utilizando de métodos não ortodoxos, tais como, o uso de armas consideradas de guerra, que vão desde fuzis calibres 7,62 mm e 5,56 mm, a explosivos utilizados em pedreiras. Esses armamentos aliados a condutas agressivas dos responsáveis que realizam, indiscriminadamente, múltiplos disparos em todas as direções sem se preocuparem com o resultado desses impactos, trazem insegurança para toda a sociedade.

A maioria dos órgãos governamentais envolvidos com Segurança Pública (quartéis, destacamentos, delegacias.), e instituições de Segurança Privada (portaria de prédios, de

indústrias, entre outros) não possuem estruturas capazes de resistirem ao impacto de disparos de determinadas armas de fogo, o que resulta em uma demonstração de fragilidade e expõe a real insegurança desses locais. Contudo, nas poucas edificações que são previstos serviços de blindagem estrutural, observa-se que em sua grande maioria os profissionais realizam a construção de forma empírica, sem analisar nenhum estudo científico sobre o tema.

Em outubro de 2021, foi solicitado à Polícia Militar do Paraná (PMPR), por meio do E-protocolo n° 18.115.562-0, dados oficiais de ocorrências envolvendo apreensões de armamento tipo fuzil e quantidade de munições apreendidas nos anos de 2019, 2020 e 2021, gerando a partir dessa solicitação o Relatório Estatístico Criminal n° 19/21. Analisando o relatório, somente no âmbito da PMPR, nos anos de 2019, 2020 e 2021, sendo este até 27 de outubro de 2021, observaram-se 42 ocorrências envolvendo a apreensão de 52 fuzis, sendo a maioria calibre 5,56 mm e 7,62mm, além de 1855 munições. Um fato preocupante é que, nos 10 meses do ano de 2021, as ocorrências já superam, em termos de números, os anos anteriores.

Essa pesquisa é uma revisão bibliográfica de diversos trabalhos científicos comprovados, em que os autores realizaram testes balísticos em mostras de concreto, concreto armado, concreto com a adição de fibras de aço e outros compostos, tais como: fibra de carbono e de vidro. A partir dessas leituras foi possível fazer uma análise qualitativa discursiva, pois, tais procedimentos, visam gerar resultados, que possam ser indicados como sugestão construtiva à profissionais do ramo, de forma que atendam com segurança as especificações para que as construções garantam a integridade de seus ocupantes, quando submetidas a cargas de impacto balístico.

2. Desenvolvimento

2.1 Blindagem

Ao se falar de resistência de concreto ao impacto balístico, a ideia é apresentar esforços necessários para blindar as estruturas, a fim de resistirem ao impacto de armas de fogo. Essa técnica é norteada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) n° NBR 15.000-2/2020, que classifica os níveis de blindagem de acordo com a velocidade do projétil disparado por uma arma de fogo. Os níveis variam de I a IV, onde o nível I resiste a impacto de armas de calibres mais fracos e o nível IV oferece resistência a armas de calibres potentes, sendo objeto desse estudo o nível III, que comporta os calibres 7,62 mm e 5,56 mm; conforme indicado na tabela 1.

Tabela 1 – Nível de proteção do sistema de blindagem quanto ao impacto balístico.

Nível	Munição	Massa do projétil g	Vo m/s	Número de impactos
I	.22 LRHV Chumbo	2,6 ± 0,1	320 ± 10	5
	.38 Special RN Chumbo	10,2 ± 0,1	254 ± 15	5
II-A	9 FMJ	8,0 ± 0,1	332 ± 12	5
	357 Magnum JSP	10,2 ± 0,1	381 ± 12	5
II	9 FMJ	8,0 ± 0,1	358 ± 15	5
	357 Magnum JSP	10,2 ± 0,1	425 ± 15	5
	9 FMJ	8,0 ± 0,1	426 ± 15	5

III-A	.44 Magnum SWC GC	15,6 ± 0,1	426 ± 15	5
III	7,62 x 51FMJ (.308 – Winchester)	9,8 ± 0,1	838 ± 15	5
IV	.30 – 06AP	10,8 ± 0,1	868 ± 15	1
Legenda : LRHV – Long Rile High Velocity RN - Round Nose FMJ – Full Metal Jacketed JSP – Joint Soft Point SW GC – Semi WadCutter Gas Check AP – Armor Piercing				

Fonte: Tabela 1 da ABNT NBR 15000-2020

Apesar de não fazer parte do escopo desse trabalho, é necessário conhecer a espessura de um vidro blindado de proteção balística. No site da empresa Inovaglass para o nível de proteção III, indica a espessura de 40 mm e o vidro é fixado na estrutura por meio do chumbamento de esquadrias ou caixilhos blindados.

2.2 Impacto do Projétil e suas Consequências em Estruturas de Concreto

Para Bangash (2009 apud LEFONE, 2012), o impacto balístico provoca dois tipos de danos: os globais e os locais. Os danos globais consistem em deformações por flexão; cisalhamento e grandes fissuras, já os danos locais são: penetração; perfuração; destacamento; estilhaçamento e estilhaçamento por punção.

2.2.1 Penetração

A penetração ocorre com a formação de uma cratera na zona de impacto do projétil, ocorrendo o destacamento, que é a ejeção de fragmentos do alvo ao ser atingido, conforme figura 2.

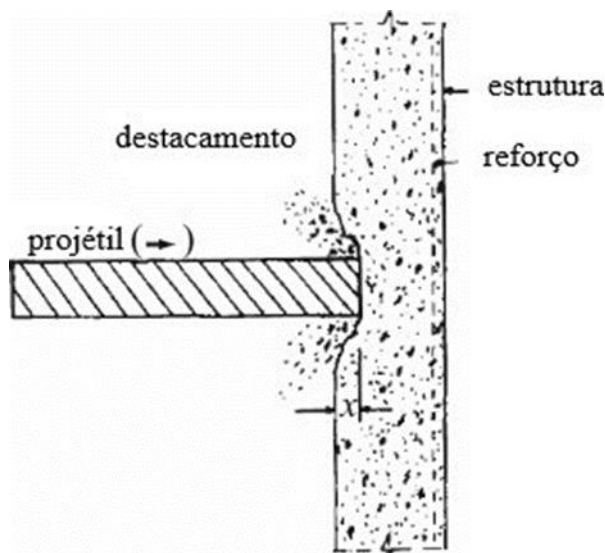


Figura 1 – Penetração (x) e destacamento.
Fonte: Bangash (2009 apud LEFONE, 2012).

2.2.2 Mecanismo de Perfuração

Forrestal et al. (1994, apud TIBURCIO, 2019), subdivide o processo de perfuração, como sendo dois mecanismos distintos: bifásico e trifásico.

Mecanismo bifásico consiste em duas fases, sendo a formação da cratera na face de ataque e, sua duração termina quando o projétil penetra no alvo duas vezes o seu diâmetro; na sequência inicia-se a formação do túnel, que termina quando o projétil atinge sua penetração máxima.

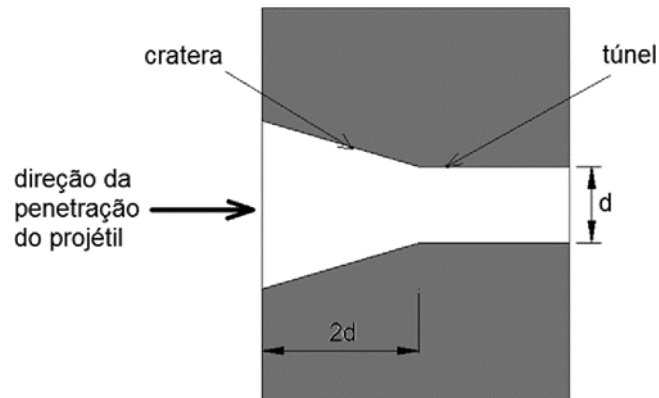


Figura 2 – Mecanismo bifásico de penetração do projétil em alvos de concreto, formação de cratera e túnel.

Fonte: Carlucci e Jacobson (2008 apud LEFONE, 2012)

Mecanismo trifásico, corresponde as duas fases do mecanismo bifásico, acrescido da formação de cratera na face posterior ao ataque. Na figura abaixo, observa-se que em alvos de pequena espessura, o túnel não está presente.

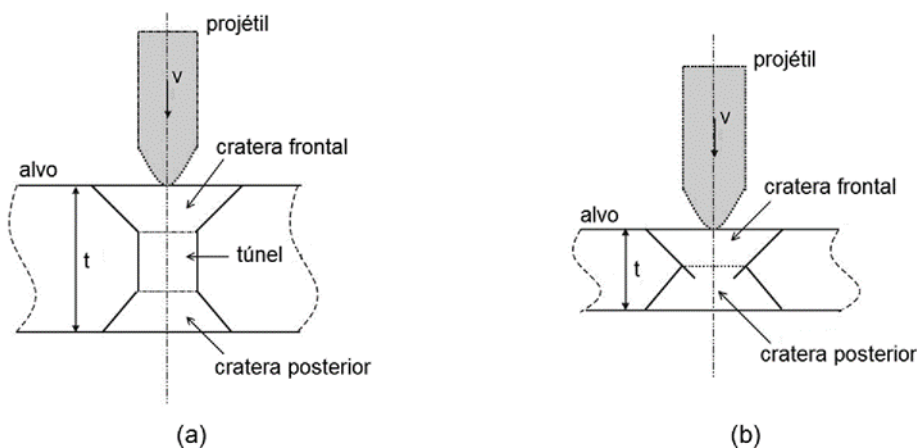


Figura 3 – Mecanismo trifásico de penetração do projétil em alvos de concreto. (a) Alvo de grande espessura; (b) Alvo de pequena espessura.

Fonte: Chen et al. (2004 apud LEFONE, 2012)

2.3 Estudos Desenvolvidos sobre Impacto Balístico em Concreto

Segundo Dancygier et al. (2007 apud LEFONE, 2012), após realizar os testes balísticos, concluiu-se que, o uso de concreto de alta resistência apresentava melhor desempenho que o concreto convencional e também, que agregados de maior dureza (quartzolito e basalto) e de maior dimensão, proporcionam aumento significativo na resistência ao impacto e danos nas faces das amostras.

Mohamed et al. (2009 apud LEFONE, 2012) realizou experimentos com malhas de aço em quantidades e posições variadas. As malhas tinham 50mm de abertura e 2 mm de diâmetro dos fios, chegando à seguinte conclusão: se utilizar uma malha próxima a face externa e outra na face interna, ocorrerá uma redução significativa nos danos nas faces, chegando a 50% na face de ataque.

Gaspar, et al. (2016), realizou um estudo em que confeccionou 28 placas de concreto quadradas de 300 mm, com 150 mm de espessura. Dessas placas, 14 eram de diferentes composições de resistência, divididas em sete de concreto de resistência convencional (CRC) e sete de concreto de alta resistência (CAR); algumas composições foram sem utilização de fibras SF; com adição de fibras de aço, com teores volumétricos de 0,5%, 1,0% e 1,5% e com adição de fibras de poliolefina (espécie de termoplástico) nas mesmas proporções das com fibra de aço.

Tabela 2 – Dosagem de Materiais para Concreto para Confeção de Placas Balísticas.

Material	Unidade	CRC	CAR
Cimento CPII-E-32	kg/m ³	332	-
Cimento CPV-ARI	kg/m ³	-	398
Sílica ativa	kg/m ³	-	40
Pedra britada n ^o 0	kg/m ³	342	982
Pedra britada n ^o 1	kg/m ³	342	-
Areia natural	kg/m ³	1016	817
Superplastificante	kg/m ³	-	9,2
Água	kg/m ³	186	167
Relação água/cimento	-	0,56	0,38

Fonte: Gaspar, et al (2016).

De cada composição foram extraídos cinco corpos de prova, e após 28 dias foram submetidos ao ensaio de compressão axial, gerando a tabela abaixo, demonstrando que o CAR+1,5%FA apresentou um melhor desempenho no teste.

Tabela 3 – Resultado do Ensaio à Compressão Axial Realizado por Gaspar.

Composição	Valores em (MPa)
CRC-S/F	36,7
CRC+0,5%FA	37,5
CRC+1,0%FA	43,2
CRC+1,5%FA	44,3
CRC+0,5%FP	40,2
CRC+1,0%FP	41,1
CRC+1,5%FP	41,8
CAR-S/F	67,8
CAR+0,5%FA	71,2
CAR+1,0%FA	81,4
CAR+1,5%FA	83,5
CAR+0,5%FP	73,9
CAR+1,0%FP	76,2
CAR+1,5%FP	77,1

Fonte: Gaspar, et al (2016).

As placas confeccionadas, foram submetidas ao ensaio balístico, em que cada corpo foi atingido por um único disparo de calibre 7,62 mm, com velocidade de 838 m/s + 15 m/s, à uma distância de 100 metros.

Ao analisar os resultados, verificou-se que, nenhuma mostra foi transfixada pelos projéteis, porém novamente a CAR+1,5%FA, obteve o melhor resultado com penetração média (P_m) 27,35 mm.

Tabela 4 – Comprimento de Penetração (P) dos Projéteis nas Amostras.

Composição	P (mm)		P _m (mm)
	Placa 1	Placa 2	
CRC-S/F	40,48	43,14	41,81
CRC+0,5%FA	36,34	36,62	36,48
CRC+1,0%FA	35,53	35,43	35,48
CRC+1,5%FA	32,49	30,41	31,45
CRC+0,5%FP	35,30	35,76	35,53
CRC+1,0%FP	34,94	35,56	35,25
CRC+1,5%FP	31,97	31,71	31,84
CAR-S/F	39,12	37,41	38,27
CAR+0,5%FA	34,41	30,45	32,43
CAR+1,0%FA	27,59	27,06	27,33
CAR+1,5%FA	27,14	27,55	27,35
CAR+0,5%FP	34,59	33,20	33,90
CAR+1,0%FP	32,52	32,05	32,29
CAR+1,5%FP	31,45	30,08	30,77

Fonte: Gaspar, et al (2016).

Gaspar, et al. (2016), concluiu que ao empregar as fibras na composição do concreto e ao aumentar sua composição, a penetração do projétil reduz substancialmente, chegando a 29% com fibras de aço e 24% com fibras de poliolefina e, que o aumento da resistência inicial do concreto fez com que o CAR (concreto de alta resistência) apresentasse comprimento de penetração até 23% menor que o CRC (concreto de resistência convencional). As fibras no concreto formam pontes que transferem as tensões concentradas do impacto, aumentando a área de distribuição da carga, com isso reduzindo sua fissuração.

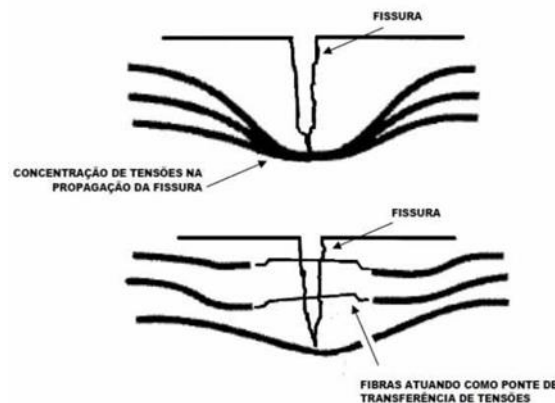


Figura 4 – Princípio de Atuação das Fibras como Ponte de Transferências de Tensão no Concreto.

Fonte: Gaspar, et al (2016).

Tiburcio (2019), realizou um estudo utilizando placas de concreto com e sem a adição de fibras de aço, onde confeccionou 12 amostras de concreto, sendo que 04 foram sem adição de fibras (SF), 04 placas com adição de 45kg/m³ de fibra de aço (CFxx-) e 04 placas com adição de 60kg/m³ de fibras de aço (CFxx+), possuíam tamanho de 30x30x6,5 cm, bem como 03 corpos de prova.

Os corpos de provas ao serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial apontaram resistência entre 41,49 Mpa aos 28 dias e 42,37 Mpa aos 35 dias.

Na tabela 5, o autor apresenta o traço e consumo de materiais para produção do concreto.

Tabela 5 – Traço e Consumo de Materiais Utilizados por Tiburcio (2019) na Confeção de Placas de Concreto.

MATERIAL	TRAÇO (MASSA)	CONSUMO (KG/M ³)
CIMENTO	1,00	457
AREIA	1,59	726
BRITA 0	2,27	1039
SÍLICA ATIVADA	0,10	46
SUPERPLASTIFICANTE	0,02	9,1
ÁGUA	0,35	160

Fonte: Tiburcio (2019).

Para o teste Balístico foram utilizados seis tipos de armamentos, porém filtro irá ao encontro dos resultados das amostras atingidas pelo fuzil 7,62 mm e pelo fuzil 5,56 mm, sendo que a distância média de disparo foi de 15 metros.

Tabela 6 – Indica as placas de concreto e dados de armamento e munição que o impactou.

Amostra	Nº de disparos	Arma	Calibre (mm)	Munição* (gr)	Velocidade (m/s)	Energia (joule)
SF01	1					
CF01-	1	Fuzil 7.62	7.62x51	144	858	3.372
CF01+	1					
SF02	4					
CF02-	5	Fuzil 5.56	5.56x45	55	995	1.762
CF02+	5					

Fonte: Adaptação da tabela de Tiburcio (2019).

Tiburcio (2019) ao analisar os resultados, concluiu que a adição de fibras de aço na composição do concreto balístico aumenta substancialmente sua resistência e que, quanto maior o teor de fibra na composição, o concreto apresentará um melhor desempenho. Observa-se no estudo de Tiburcio (2019), que todas as placas atingidas pelos fuzis, sofreram danos severos em suas estruturas, porém as placas com fibras de aço receberam vários disparos de fuzil 5,56 mm e a placa CF01+ não foi perfurada pelo disparo do fuzil 7,62 mm.

Magalhaes Junior (2012), realizou uma pesquisa minuciosa, buscando soluções para que estruturas de concreto armado resistam ao esforço de tração causado pelo impacto de um projétil, pois trata-se de um carregamento dinâmico e instantâneo. Foi utilizado em

seu estudo concreto de alta resistência, com adição de barras de aço, fibras de aço além de compósitos de resina e fibras de carbono e vidro coladas na face externa de mostras, com intuito de reduzir os danos na estrutura, como estilhaçamento, destacamento e perfuração.

Segundo Magalhaes Junior (2012), diversas fórmulas matemáticas existentes na literatura preveem o comprimento de penetração de projéteis em alvos de concreto, porém essas fórmulas levam em conta somente características físicas do projétil, como peso, diâmetro, velocidade e resistência a compressão do concreto, porém não são levados em conta diversos fatores como tipos de agregado do concreto armadura e outros compósitos.

Para os ensaios, Magalhães Junior (2012), produziu corpos de prova e 110 placas de concreto com resistência a compressão de 70 Mpa, tamanho 30 x 30 cm e espessuras que variam de 38,1 mm, 50,8 mm, 70 mm, 100,0mm, 125,0mm e 150,0 mm; fibras de aço na proporção de 80 kg /m³ e armaduras que variam de 6,3 a 10 mm, dependendo da espessura da placa e após executadas. Lembrando que algumas placas receberam reforço de resina com fibra de vidro ou carbono.

Para o teste balístico, Magalhães Junior (2012), impactou trinta placas com armas de calibre 9mm, cinquenta e duas placas com calibres 7,62 mm e vinte e oito placas com calibre .50, porém vamos nos ater aos resultados dos calibres 7,62 mm que é nosso objeto de estudo e ao calibre .50, que corresponde a um armamento muito mais potente que nosso objeto de estudo e que para ser utilizado necessita ser montado em tripé próprio ou fixado em uma base, enquanto que os fuzis podem ser transportados por um único homem.

Os alvos impactados por calibre 7,62 mm estavam a 15 metros de distância, enquanto os alvos impactados pelo calibre .50 estavam a 25 metros de distância. Cada alvo foi identificado segundo sua composição, CA para concreto armado, CS concreto simples, FA para fibras de aço, FV fibra de vidro e FC fibra de carbono, seguidas do número 1 ou 2 que indicam quantas camadas foram adicionadas de fibra de vidro ou carbono.

Magalhães Junior (2012) analisou as placas quanto aos danos na face anterior e posterior, e ainda quanto a penetração e estilhaçamento, definindo PN como penetração sem perfuração, PF S/EST como perfuração sem estilhaçamento e PF C/Est, como perfuração com estilhaçamento. As placas impactadas por calibre 7,62 mm, passaram a apresentar bons resultados a partir da espessura de 70mm, ou seja, apresentando melhores resultados conforme aumentam a espessura, sendo que os com adição de armadura e fibras de aço foram os melhores resultados.

Tabela 7 – Indica as placas de concreto impactadas por calibre 7,62 mm.

Tipo da placa	Espessura	Tipo da placa	Espessura
CA70-38,1-FA80-FV2	38,1 mm	CA70-70,0-FV1	70,0 mm
CA70-38,1-FA80-FV1		CA70-70,0	
CS70-50,8-FA80-FC2		CS70-70,0-FA80-FV1	
CS70-50,8-FA80-FV2		CA70-70,0-FA80	
CS70-50,8-FA80-FV2		CA70-70,0-FC1	
CA70-50,8-FA80-FV1		CA70-70,0-FC2	
CA70-50,8-FC2		CA70-70,0-FA80-FC1	
CA70-50,8-FV2	50,8 mm	CA70-70,0-FA80-FC2	
CS70-50,8-FA80-FC1		CS70-100,0-FA80	
CS70-50,8-FA80-FC2		CA70-100,0	

CA70-50,8-FV1		CA70-100,0-FA80-FC1	100,0 mm
CA70-50,8-FA80-FV2		CA70-100,0-FA80	
CA70-50,8-FA80-FC2		CA70-100,0-FA80-FV1	
CA70-50,8-FA80-FC1		CS70-125,0-FA80	
CA70-50,8-FA80-FC2		CA70-125,0	125,0 mm
CS70-70,0-FA80		CA70-125,0-FA80	
CS70-70,0-FA80-FC1		CA70-150,0-FA80	150,0 mm
CS70-70,0-FA80-FC2			

Fonte: Adaptação da tabela de Magalhaes Junior (2012).

Tabela 8 – Indica as placas de concreto impactadas por calibre 50.

Tipo da placa	Espessura	Tipo da placa	Espessura
CA70-70,0-FA80-FC2		CA70-125,0-FA80-FV2	
CA70-70,0-FA80-FV2	70,0 mm	CA70-125,0-FA80	
CA70-70,0		CA70-125,0-FA80-FV1	125,0 mm
CS70-100,0-FA80-FV2		CA70-125,0-FV1	
CS70-100,0-FA80-FC2		CA70-125,0-FC1	
CS70-100,0-FA80-FV1		CS70-125,0-FA80-FV1	
CA70-100,0-FV1	100,0 mm	CS70-125,0-FA80-FC1	
CA70-100,0-FV2		CA70-125,0-FA80-FV1	
CA70-100,0-FC2		CA70-125,0-FA80-FC1	
CA70-100,0-FA80-FV2		CS70-150,0-FA80	
CA70-100,0-FA80-FC2		CA70-150,0	
CS70-125,0-FA80		CA70-150,0-FA80	150,0 mm
CA70-125,0-FV2		CA70-150-FC1	
CA70-125,0		CA70-150-FC2	

Fonte: Adaptação da tabela de Magalhaes Junior (2012).

Para sua conclusão, Magalhães Junior (2012), levou em consideração a variação de massa de cada placa, medida antes e depois do impacto balístico, chegando ao parecer de que, as placas reforçadas com armadura tiveram mais perda de massa que as placas reforçadas com fibra de aço. As placas com armadura quando inseridas fibras de aço, tiveram metade da perda de massa que as sem fibra de aço.

Quanto aos danos nas faces anterior e posterior das placas, as placas a partir de 100 mm atingidas por calibre 7,62 mm tiveram danos apenas na face anterior e, as de 150 mm também tiveram danos na face anterior, mesmo atingidas por calibre .50.

Após o ensaio balístico, o autor reproduziu os resultados de perda de massa e penetração em tabelas, porém serão apresentadas apenas as tabelas a partir da espessura de 70 mm, que têm condições satisfatórias para blindagem.

Por fim, Magalhães Junior (2012) concluiu, que a adição de compósito de resina com fibra de vidro ou carbono, não interfere na penetração, mas auxilia na contenção do estilhaçamento na face posterior; ainda o autor constatou que as placas com armadura e fibras de aço são as que obtiveram melhor resultado quanto a penetração e perda de massa.

3. Resultados e Discussão

Nos trabalhos desenvolvidos pelos autores, as dinâmicas variaram muito em relação aos testes desenvolvidos, porém em todos foram possíveis extrair resultados, que irão nortear a execução de uma estrutura que resista aos impactos de projéteis de fuzis calibre 7,62 mm.

Os testes demonstraram que quanto maior a resistência a compressão, menor será a penetração. Nos testes com concretos que possuíssem resistência à compressão em torno de 70 Mpa, demonstrou ser uma opção adequada. Porém, considerando a realidade brasileira em relação a obtenção de concreto de alta resistência, e que muitos postos policiais e delegacias se encontram em municípios distantes, apesar dos melhores resultados serem obtidos com concreto de 70 Mpa, é salutar repensar na utilização de concreto menos resistente, produzindo uma parede, um pouco mais grossa e fixando placas de aço como anteparo, que funcionarão como redutor de velocidade dos projéteis.

O uso de malha de aço na face anterior e posterior reduziram a perda de massa da estrutura e na penetração do projétil. Os melhores resultados foram obtidos com o uso de dupla malha de aço, sendo uma na face anterior e uma na face posterior da estrutura, com a adição de fibras de aço no concreto e paredes com espessura de 150 mm; em uma estrutura real esse aparente super dimensionamento fará a estrutura resistir a múltiplos disparos, permitindo aos ocupantes procurarem um abrigo, fugirem ou dar pronta resposta a ameaça iminente.

A inserção de fibras de aço no concreto, apresentaram excelentes resultados quanto a perda de massa; diminuição da penetração e fissuração dos blocos de concreto testados, demonstrando que de fato, a fibra de aço contribui na distribuição da carga do impacto. Assim como, a adição de fibras de vidro e de carbono coladas na face posterior contribuíram para diminuição do estilhaçamento.

Outro ponto a se observar é optar por agregados graúdos, que contribuem para o aumento da resistência a penetração do projétil, e a espessura da parede também influencia na absorção dos impactos e principalmente no colapso da estrutura, onde paredes com espessura de 150 mm apresentaram excelentes resultados quando impactadas por disparos de fuzil 7,62mm, inclusive resistindo ao impacto de projéteis .50.

4. Conclusão

Tomando por base as pesquisas científicas realizadas, é possível extrair dados para confecção de um anteparo balístico, capaz de resistir a impactos de projéteis de fuzil calibre 7,62mm, observando a resistência à compressão do concreto, tipos de agregado, uso de malhas de aço e adição de fibras de aço na composição do material.

Os resultados obtidos nos ensaios, dará suporte técnico científico para elaboração de projetos que resistam a disparos eventuais, garantindo a segurança dos integrantes do habitáculo, sem que haja o colapso da estrutura. A reunião dos resultados permitirá aos profissionais habilitados optarem por várias configurações de concreto, aproveitando o que tem à disposição em sua região.

No caso específico da região de Maringá-Pr, cidade sede da elaboração deste, o concreto com resistência à compressão acima dos 35 Mpa é de difícil obtenção e de custo elevado, devendo os executores optarem pelo aumento da espessura da parede,

aliada ao uso de fibras de aço em conjunto com malha de aço nas faces dianteira e posterior, afim, de garantir que a estrutura resista aos impactos balísticos e não entrem em colapso.

Sugere-se que, sejam realizados experimentos futuros com mostra impactadas por múltiplos disparos, assim como indicados pela ABNT NBR 15000-2/2020, os quais certificam os níveis de blindagem, porém não é específica para blindagem de concreto. Em sua especificação ela indica que o corpo de prova seja submetido a um impacto central e outros quatro impactos em suas extremidades. Outro ensaio que pode ser realizado é quanto a resistência no que se refere a penetração de munições especiais com pontas especiais para perfuração, que apresentam uma dureza maior em suas pontas. Ainda um ensaio que não se encontra na literatura, é a redução de velocidade de projéteis ao transfixarem placas de aço comerciais com espessura de 10 mm.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 15000-2: Sistemas de blindagem-Proteção balística. Rio de Janeiro, 2020, p. 20.
- BANGASH, Mohammad Yusaf Hassan.** Shock, impact and explosion. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- DONALD, Carlucci E.; CARLUCCI, S.; JACOBSON, S.** Ballistics: theory and design of guns and ammunition. 2008.
- DANCYGIER, Avraham N.; YANKELEVSKY, David Z.; JAEGERMANN, Chanoch.** Response of high performance concrete plates to impact of non-deforming projectiles. International Journal of Impact Engineering, v. 34, n. 11, p. 1768-1779, 2007.
- FORRESTAL, M. J. et al.** An empirical equation for penetration depth on ogive-nose projectiles into concrete targets International Journal of Impact Engineering Dayton, EUA, 1994.
- GASPAR, Daniel H.; CARNEIRO, Luiz AV; TEIXEIRA, AMAJ.** Estudo de placas de concreto com fibras de aço e de poliolefina submetidas a impacto balístico. REVISTA MILITAR DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, v. 33, p. 57-62, 2016.
- INOVAGLASS-Industria de vidros e opacos blindados.** São Paulo-SP, Espessura de Vidros Blindados. Disponível em: <<https://www.inovaglass.com.br/certificados/tabela-balistica/>>. Acesso em: 27 out. 2021.
- LEFONE, Renato Cancherini; CARNEIRO, Luiz Antonio Vieira; TEIXEIRA, Ana Maria Abreu Jorge.** Concretos Especiais para Blindagem de Estruturas de Defesa. Rio de Janeiro, 2012.
- MAGALHÃES JUNIOR, Francisco Lopes de.** Concreto Armado com fibras sob cargas de impacto para segurança de vias públicas. Rio de Janeiro, 2012. Dissertação de Mestrado em Engenharia dos Transportes do Instituto Militar de Engenharia, PROFIC SE/2 2007.
- MOHAMED, Mamdouh E. et al.** Experimental analysis of reinforced concrete panels penetration resistance. In: Proceedings of the 13th International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology. 2009.
- POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ.** Relatório Estatístico Criminal nº 19/2021. Dados sobre fuzis apreendidos pela PMPR em 2019, 2020 e 2021. Paraná, 2021. p. 5.
- TIBÚRCIO, Gabriela Dutra.** Análise experimental de placas de concreto submetidas a impacto de projéteis em alta velocidade. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.