

O Betão Estrutural como Sistema de Prevenção Rodoviária.



**Alexandre
Machado¹**

RESUMO

Neste trabalho expõe-se o processo de desenvolvimento de um sistema de contenção de veículos, e como a utilização do Betão permite a produção de barreiras flexíveis destinadas à proteção dos utentes da estrada.

Palavras-chave: Segurança, contenção, severidade, energia.

1. INTRODUÇÃO

A conceção das estradas, de modo a melhorar a segurança, deve prever a instalação, em certas secções e localizações específicas, de barreiras de segurança com o objectivo de conter ou redireccionar com segurança, veículos em movimento para benefício dos seus ocupantes e de outros utilizadores da estrada [1].

Em 1 de Janeiro de 2011, em Portugal, tornou-se obrigatório o cumprimento integral da norma “**EN 1317 – 5:2007 + A1:2008 Road restraint systems – Part 5: Product requirements and evaluation of conformity for vehicle restraint systems**” [2].

Esta norma de referência, define o método de ensaio e marcação CE de sistemas de contenção de veículos instalados nas vias a partir desta data. Tal obrigação, aparece com uma década de atraso relativamente a países mais desenvolvidos da UE (Áustria, Alemanha, Dinamarca, França, Holanda, entre outros...).

Esta legislação levou também o I.N.I.R (Instituto Nacional de Infra-Estruturas Rodoviárias) a elaborar o seguinte documento:

- “Sistemas de Retenção Rodoviários. Manual de Aplicação”

Este manual estipula a metodologia a utilizar na seleção dos sistemas de contenção de veículos a instalar em vias rodoviárias. Visa informar e orientar todos os responsáveis por projecto, construção, fiscalização e donos de obra no cumprimento da norma em vigor.

¹ Controlo da qualidade e desenvolvimento do produto, Betafiel S.A. qualidade@betafiel.pt

2. SISTEMAS EM BETÃO DE CONTENÇÃO E REENCAMINHAMENTO DE VEÍCULOS

O Betão, sendo um dos materiais de construção mais completos e versáteis do mundo actual, permite um leque variado e abrangente de soluções. Neste cenário específico, o da segurança rodoviária, e com a Norma “EN 1317-5:2007 + A1:2008” como referência, foram desenvolvidas barreiras de segurança pré-fabricadas em betão de elevado desempenho, pela empresa austríaca DELTA BLOC[®], representada em Portugal pela empresa Betafiel S.A.(fig. 1). O emprego do betão neste sistema de segurança de elevada eficácia, já consagrado por toda a Europa, permite a redução drástica de acidentes, bem como das suas nefastas consequências materiais e humanas.

É um dado adquirido que o factor preponderante para a causa do acidente é o comportamento humano. Contudo, adicionando a este as condições climatéricas adversas (nevoeiro, chuva, neve, gelo, vento, etc), bem como por vezes a falta de manutenção adequada nas estradas e nos veículos em circulação (motociclos e veículos ligeiros e pesados) e a sobrecarga de tráfego permanente, tornam a segurança e a prevenção cada vez mais um factor chave e nuclear na minimização desta situação.

Não obstante existirem diversos tipos e modelos de elementos em betão que se utilizam como barreiras de segurança na prevenção rodoviária, o sistema que se apresenta nas linhas seguintes assume-se como um daqueles que evidencia um dos mais elevados desempenhos. Trata-se de um sistema evoluído que foi desenvolvido com base na geometria das barreiras em betão “New Jersey” convencionais, onde a elevada capacidade de retenção de veículos e os baixos índices de severidade de aceleração (A.S.I.(3.3)) para os ocupantes sobressaem.

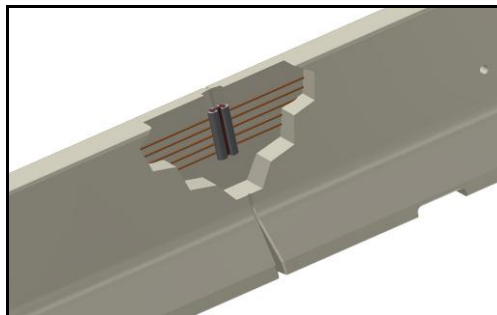


Figura 1 – Sistema DELTA BLOC[®]

Estas barreiras de comportamento comprovado têm um papel fundamental na minimização das consequências de acidente quer para os ocupantes quer para os veículos e terceiros envolvidos.

Em caso de acidente e de acordo com a EN 1317, a barreira de segurança tem de conter e redirecionar o veículo sem registar a separação dos elementos constituintes do sistema e sem que qualquer porção da mesma se solte, para não criar perigos graves para o restante tráfego, peões ou pessoal em zonas de trabalho. Os seus elementos não podem penetrar no compartimento de passageiros do veículo, nem são permitidas deformações ou intrusões por parte desta que possam causar lesões graves [3].

2.1 Vantagens do sistema

A utilização do betão num sistema deste tipo, cuja aprovação depende de um leque de ensaios de desempenho bastante alargado (quadro 2), traz inúmeras vantagens comparativamente, por exemplo, a um sistema metálico (fig. 2). A elevada resistência do betão à compressão é complementada com o sistema de ligação (tensor) em aço que dá uma extraordinária resistência à flexão de cada elemento e à tração do conjunto. Isto permite ao sistema deflectir absorvendo a energia do veículo. Nenhum elemento da barreira invade o veículo após o embate pondo em risco os seus ocupantes, não tem pontas cortantes ou arestas vivas no corpo da barreira, que afetam muito particularmente os motociclistas. A velocidade de montagem é bastante elevada, visto que trabalha

com um encaixe simples em aço galvanizado sem grande necessidade de mão de obra. Em situação de acidente e caso seja necessário desmontar algum elemento da barreira ou haja algum danificado, a sua substituição por outro é extremamente simples e rápida.



Figura 2 – Colapso de barreira metálica após impacto.

Contudo, existem variados exemplos onde também o betão é usado, mas incorrectamente, como sistema de contenção. Sistemas onde a barreira não suporta o embate, rompe e invade a faixa contrária de rodagem (Fig.3) e outros, como barreiras rígidas *In situ*, onde, por vezes o sistema embora se mantenha íntegro, os índices de severidade são elevadíssimos. Estes dois exemplos identificam situações proibidas num adequado cumprimento da norma.



Figura 3 – Acidente na A1 (Vila Franca de Xira) 2 de Junho/2011. O despiste deste veículo pesado destruiu a barreira destinada a protecção e entrou na faixa contrária de rodagem. Um sistema de retenção adequado evitaria os graves danos humanos e materiais verificados. (foto cedida por GAIA FM)

2.2 Betão utilizado na barreira

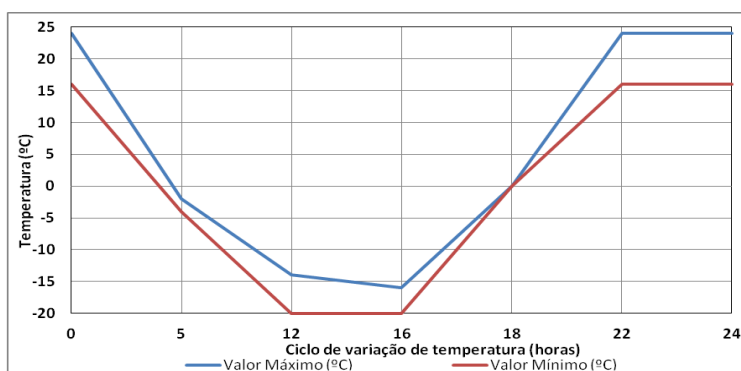
De forma a garantir a durabilidade desta estrutura durante um período mínimo de 50 anos, foi estudada uma classe de betão EN206-1 C35/45 XF2 CI 0.10 (P), garantindo assim o comportamento adequado ao ataque proporcionado por ciclos gelo/degelo na presença de sais descongelantes (exposição ambiental exigida para estruturas em vias rodoviárias). Estes sistemas estão muitas vezes instalados em zonas onde as temperaturas são, em algumas alturas do ano, negativas e ocorre formação de gelo e queda de neve. Nesta situação, entre outras obrigações, é necessário garantir um teor de ar no betão de 4.0%.

Normalmente, em produção industrial, assume-se um teor de ar mais elevado do que o exigido na especificação em vigor, de forma a que o mínimo seja sempre garantido; contudo isso pode muitas vezes trazer perdas nas resistências mecânicas. Assim, e para contrariar quaisquer desvios prejudiciais à produção de um betão de elevada qualidade com um custo competitivo, e após interpretação do

quadro F.1 (Anexo F, NP EN 206-1 2007) foi submetido a ensaio equivalente um betão com os 40 litros/m³ exigidos para a classe XF2 e a composição estudada para aplicação no sistema de segurança rodoviária, sem qualquer ar introduzido. O desafio passou portanto por garantir um betão de elevado desempenho mecânico e reológico, com a mínima Razão Água/Cimento possível e sem introdução de ar, cujo comportamento comparativamente a um betão especificado para a classe XF2 fosse equivalente (desvio ≤3%).

Como a NP EN 206-1 2007 não especifica nenhum método relativamente a este ensaio no betão, foi adoptado o Anexo D, da NP EN 1338 : 2009, que propõe a metodologia para este ensaio em pedra de chão. Para este trabalho foi escolhido o C.T.C.V. (Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro) por cumprir o anexo na totalidade. O método de ensaio exige a exposição de três provetes de betão por cada composição a ensaiar durante 28 ciclos de 24 horas com variações de temperatura dentro do intervalo estabelecido no gráfico 1, e com os resultados finais descritos no quadro 1.

Gráfico 1 – Intervalo de temperatura por ciclo de 24 horas na presença de sal descongelante.



2.3 Análise de resultados

Após análise dos resultados obtidos por comparação dos dois estudos de betão (quadro 3), concluímos que é possível o fabrico de um betão resistente a um ambiente com fortes ataques em situações de Gelo/Degelo na presença de sal descongelante (XF2), sem cumprir rigorosamente os 4.0% de teor de ar.

Quadro 1. Resultados de ensaios comparativos

Ensaio comparativos - Valores médios		Estudos de Betão	
		DBA(a)	DB(b)
Perda de massa após ensaio Gelo/Degelo.		1,43 Kg/m ²	1,33 Kg/m ²
Resistências Mecânicas - compressão uniaxial		Mpa	
Idade dos provetes	40 h	40,4	42,0
	64 h	44,2	46,1
	72 h	45,7	48,6
	7 d	52,3	54,2
	28 d	54,5	57,1
(a) Betão com introdutor de ar. Teor de ar no betão - 4%			
(b) Betão sem introdutor de ar.			

Esta situação pode ser explicada com a ligeira perda de resistências mecânicas em compressão axial (redução também da resistência em tracção) no betão com ar introduzido e pelo teor de ar proporcionado pelo superplastificante utilizado na composição de referência (2.3%). Este ar “natural” presente no betão aliado a uma resistência mecânica mais elevada, proporciona um bom desempenho da pasta aglutinante quando o betão é exposto a este tipo de ambiente.

A polivalência do betão permite felizmente adequá-lo a cada aplicação específica, ultrapassando limitações difíceis de superar à primeira vista, sem pôr em causa a sua durabilidade e a qualidade do produto final.

3. CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DO ENSAIO DE COLISÃO

3.1 Energia

A energia mecânica resultante da colisão de veículos motorizados afecta o organismo humano através de forças de desaceleração, forças de aceleração ou a combinação de ambas. Tanto a massa (m) de um veículo, como a velocidade (v) a que circula determinam o aumento de Energia Cinética (E.C.); `Eqs. (1) e (2)`; embora a velocidade tenha maior influência. Se a massa de um veículo duplicar, a energia também é dobrada, contudo se duplicarmos a velocidade, a energia é quadruplicada. A EC de um veículo é dada por:

$$EC = (mv^2)/2;$$

onde, na barreira, de acordo com o ângulo de embate (α), a energia é definida por:

$$EC = m(v.\text{sen}\alpha)^2/2$$

Quanto maior for a EC do veículo na altura do embate, maior é a transferência de energia do veículo para a barreira, que se inicia no 1º impacto e continua até todos os impactos subsequentes estarem completos e a maior quantidade de energia estar dissipada [3]. Se a barreira destinada a proteção não tiver uma capacidade elevada de absorção da energia provocada pelo embate, que será dispersa por toda a estrutura montada, esta irá ter retorno para o veículo e para os ocupantes deste. As lesões daí resultantes do retorno dessa energia não absorvida pela barreira de segurança é descarregada no veículo e nos seus ocupantes excedendo a resistência corporal e elevando a severidade do embate (A.S.I.(3.3)) para um índice superior ao suportável.

3.2 – Norma de ensaio – EN 1317-2:2010

Para a aprovação do funcionamento de cada sistema de retenção de veículos; situação que só é possível por ensaio; a norma classifica o sistema de retenção de veículos segundo 3 parâmetros:

- Nível de Contenção;
- Índice de Gravidade / Severidade para os ocupantes do veículo
- Deformação da barreira, expressa pela largura útil

A norma acima referida exige que sejam cumpridos todos os parâmetros de análise referente aos sistemas de contenção instalados nas nossas vias, quer sejam em betão quer sejam em aço. Contudo, o seu incumprimento é uma situação corrente. As exigências deste documento, em vigor para este tipo de sistemas, são bastante elevadas (quadro 2), e a obrigação do seu cumprimento em Portugal tarda em ser prioritária para os projectistas e donos de obra, conduzindo ao frequente esquecimento da segurança dos veículos e seus ocupantes.

Quadro 2. Exigências e características de ensaio para classificação de sistemas de segurança rodoviária [4].

Níveis de contenção		Condições de ensaio para classificação de níveis de contenção em sistemas de contenção de segurança rodoviária. EN 1317-2:2010				
		Código do ensaio	Velocidade da colisão	Ângulo da colisão (graus)	Massa do veículo (kg)	Tipo de veículo
Contenção num ângulo fechado	T1	TB21	80	8	1.300	Automóvel
	T2	TB22	80	15	1.300	Automóvel
	T3	TB41	70	8	10.000	Veículo Pesado Rígido
		TB21	80	8	1.300	Automóvel
Contenção normal	N1	TB31	80	20	1.500	Automóvel
	N2	TB32	110	20	1.500	Automóvel
		TB11	100	20	900	Automóvel
Contenção elevada	H1	TB42	70	15	10.000	Veículo Pesado Rígido
		TB11	100	20	900	Automóvel
	L1	TB42	70	15	10.000	Veículo Pesado Rígido
		TB32	110	20	1.500	Automóvel
		TB11	100	20	900	Automóvel
	H2	TB51	70	20	13.000	Autocarro
		TB11	100	20	900	Automóvel
	L2	TB51	70	20	13.000	Autocarro
		TB32	110	20	1.500	Automóvel
		TB11	100	20	900	Automóvel
	H3	TB61	80	20	16.000	Veículo Pesado Rígido
		TB11	100	20	900	Automóvel
	L3	TB61	80	20	16.000	Veículo Pesado Rígido
		TB32	110	20	1.500	Automóvel
		TB11	100	20	900	Automóvel
Contenção muito elevada	H4a	TB71	65	20	30.000	Veículo Pesado Rígido
		TB11	100	20	900	Automóvel
	H4b	TB81	65	20	38.000	Veículo Pesado Articulado
		TB11	100	20	900	Automóvel
	L4a	TB71	65	20	30.000	Veículo Pesado Rígido
		TB32	110	20	1.500	Automóvel
		TB11	100	20	900	Automóvel
	L4b	TB81	65	20	38.000	Veículo Pesado Articulado
		TB32	110	20	1.500	Automóvel
TB11		100	20	900	Automóvel	

Como pode ser observado, as situações de ensaio exigem mais do desempenho do sistema à medida que os níveis de contenção também aumentam. O aumento da energia cinética em cada nível de contenção dificulta a retenção do veículo e obriga a um sistema específico para cada um deles. Após a sujeição a ensaio nas condições exigidas para cada nível (quadro 2) é calculado o índice ASI na altura do embate e a largura de deflexão (3.4) do sistema. Este valor é também fundamental para o dimensionamento da largura útil que define o espaço necessário para que cada sistema funcione eficazmente em caso de acidente.



Figura 4 – Sistema DB100 H4b W5. Ensaio TB 81- Energia Cinética do veículo no Embate – 724,6 kJoule

3.3- ASI. Índice de Severidade de Aceleração (Acceleration Severity Index) [5].

O índice de severidade de aceleração classifica as prováveis consequências e a gravidade das lesões para os ocupantes do veículo em caso de colisão. Esta avaliação é decisiva para classificar a segurança que cada sistema proporciona e a energia cinética que consegue dissipar. Tendo após o impacto uma avaliação positiva do comportamento do sistema, o maior risco de lesão para os passageiros surge derivado das forças de aceleração no impacto.

O valor limite de resistência corporal foi considerado igual a 1. Quanto mais o valor obtido no ensaio exceder este, mais elevado é o grau de lesão. Existe uma classificação para três índices de severidade: A, B e C (quadro 3);

Quadro 3 – Interpretação de valores ASI.

Índices ASI		DESCRIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE SEVERIDADE
A	$0 < ASI \leq 0,7$	Reencaminhamento do veículo para a faixa de rodagem com a possibilidade de ferimentos ligeiros em passageiros utilizando cinto de segurança e sem ferimentos graves para ocupantes sem cinto de segurança.
	$0,7 < ASI \leq 1$	Impacto com grau de severidade elevado. Probabilidade de ferimentos ligeiros para ocupantes com cinto de segurança, ferimentos graves para passageiros sem cinto de segurança.
B	$1,0 < ASI \leq 1,4$	Risco elevado de lesões severas nos ocupantes do veículo.
C	$>1,4$	O risco de ocorrer morte imediata é extremamente elevado. Normalmente não é permitida a instalação de sistemas com este valor em vias de comunicação. Este índice de severidade excede largamente a resistência corporal.



Figura 5 – Crash Test Dummie utilizado em Ensaio TB11 para simulação de passageiro no veículo. Classificação do Índice ASI da barreira de contenção.

3.4- Largura de Deflexão

A EN 1317 define oito níveis de deflexão dinâmica que indicam o espaço necessário para a aplicação de cada sistema em obra (quadro 4).

Quadro 4 – Níveis de largura útil [3]

W1	$\leq 0,6\text{m}$
W2	$\leq 0,8\text{m}$
W3	$\leq 1,0\text{m}$
W4	$\leq 1,3\text{m}$
W5	$\leq 1,7\text{m}$
W6	$\leq 2,1\text{m}$
W7	$\leq 2,5\text{m}$
W8	$\leq 3,5\text{m}$

A deformação das barreiras de segurança durante os ensaios de colisão é caracterizada pela deflexão dinâmica e pela largura útil. É importante que a deformação seja compatível com o espaço disponível atrás do sistema [3] (fig.6). Este é também um ponto fundamental para uma construção sustentável. É possível, com este sistema, ajustar esta característica de cada sistema às condições existentes em obra ou em via já existente.



Figura 6 – Deformação do sistema após embate.

Existe uma correlação entre a segurança que cada sistema proporciona e a sua deformação. Até há bem pouco tempo, um baixo valor de ASI esteve sempre dependente de uma elevada deformação da barreira, necessitando para isso de mais espaço na via. Sendo esta uma limitação óbvia para instalação destes sistemas em zonas onde o espaço na via não era suficiente para o sistema deflectir na totalidade em caso de impacto, como pontes ou curvas apertadas, foi encontrada e desenvolvida uma solução de contenção elevada H2, com uma deflexão máxima W1 mantendo o Índice de Severidade B (Fig.7). Estes sistemas, aplicados maioritariamente em pontes, são cravados ao solo, e a absorção de energia dos impactos é através de um movimento de oscilação vertical da barreira. Está em estudo e desenvolvimento de uma barreira para um nível de desempenho H4b / W1 / ASI – A.



Figura 7 – Sistema DB80 AS-A H2 W1 ASI-B. Ensaio de Contenção TB51 - E.C. 287,5 kJoule



Figura 8 – Instalação do sistema “Delta Bloc” na Ponte do Açude em Coimbra. Substituição de barreira metálica existente dada a sua comprovada ineficácia.

CONCLUSÕES

O Betão quando adequadamente especificado, produzido, aplicado e bem utilizado, quer como produto final ou de transformação (pré-fabricado), responde positivamente perante as mais exigentes contrariedades e necessidades. Em particular, no domínio da segurança, e sobretudo no âmbito da prevenção rodoviária, demonstra-se que a utilização do betão como material de base, por excelência, permite o desenvolvimento e produção de um produto de elevado desempenho face às mais severas solicitações físicas e condições ambientais, satisfazendo todas as normas de produto que lhe são aplicáveis.

REFERÊNCIAS

- [1] NP EN 1317-2:2000. Sistemas de segurança rodoviária. Parte 2: Classes de desempenho, critérios de aceitação do ensaio de colisão e métodos de ensaio para barreiras de segurança.
- [2] Lista de normas harmonizadas na UE. Jornal Oficial da União Europeia C344/1, 17/12/2010.
- [3] Emergency Nurses Association, TNCC – Trauma Nursing Core Course. Provider Manual Sixth Edition
- [4] EN 1317-2:2010. Road restraint systems – Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers including vehicle parapet
- [5] 16th IRF World Road Meeting-“ Passenger Safety on Modern Vehicle Restraint Systems”. Thomas Edl, AndreasBares, Alexander Barnas, Paul Bittner