

3º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA (3)

A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE ABSORÇÃO DE IMPACTO NOS ENGATES  
PARA PROTEÇÃO DO TREM E SEGURANÇA DOS PASSAGEIROS

**INTRODUÇÃO**

A segurança operacional de veículos ferroviários é um tópico de discussão e pesquisa em nível mundial na indústria ferroviária. Com o avanço da tecnologia e a expansão deste tipo de transporte, o conceito de gerenciamento de energia e os dispositivos de segurança utilizados para isso, tem se tornado cada vez mais importante. Os acoplamentos entre carros e composições são os primeiros elementos a receberem a energia gerada em uma colisão e por isso devem estar preparados para evitar maiores danos à integridade do trem e principalmente garantir a segurança dos passageiros.

## DIAGNÓSTICO

Os veículos ferroviários estão entre o método mais utilizado de transporte de passageiros e cargas e representam atualmente o melhor desempenho econômico e ambiental, com excelentes índices de segurança em comparação com outros sistemas de transporte como o rodoviário e aviação.

Ainda que classificado como um dos transportes mais seguros, superado apenas pelo transporte aeroespacial, a indústria ferroviária está em contínuo desenvolvimento para obtenção de medidas ainda melhores de segurança, fato esse intensificado a cada acidente ocorrido.

Os trens mais modernos estão sendo projetados para operações a altas velocidades visando minimizar o custo e tempo de operação. Nessa linha de desenvolvimento, os requisitos de segurança e conforto dos passageiros se tornam cada vez mais primordiais.

Com a consciência sobre os custos de acidentes ferroviários em termos de sofrimento humano e danos materiais, operadores, fabricantes e instituições de pesquisa são encorajados para desenvolver novas tecnologias tendo em conta as condições de impacto. Trata-se de um esforço no sentido de uma melhor compreensão da mecânica de colisões ferroviárias, incluindo avaliação mais exata das cargas de impacto que permite o desenvolvimento de novos vagões ferroviários de grande resistência, com margens de incerteza reduzidas e máxima absorção de energia [7].

A segurança passiva no transporte ferroviário visa proporcionar um ambiente seguro aos ocupantes do trem durante cenários de colisão [8]. As lesões ou mortes são causadas

principalmente por choques severos entre os ocupantes e o interior do veículo, resultado de danos significativos às estruturas dos veículos ou de altos níveis de desaceleração gerados durante a colisão. Nas últimas décadas, diversos projetos foram criados visando à melhoria da segurança no transporte ferroviário, tais como a TRAINCOL, SAFETRAN e SAFETRAM (Figura 1).

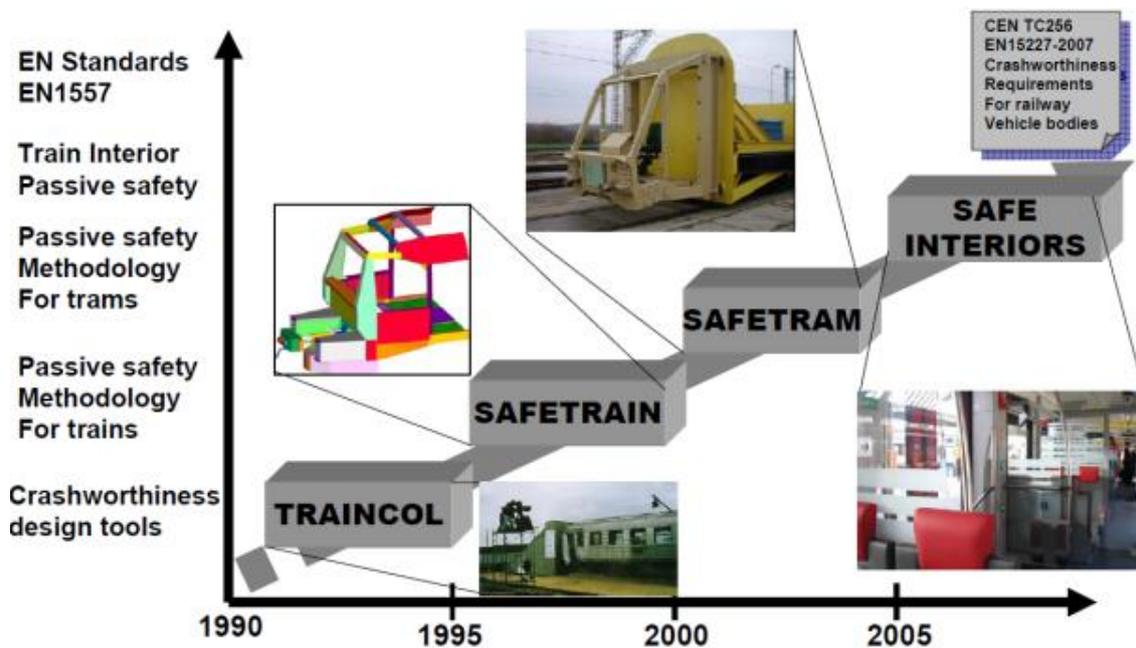


Figura 1 – Linha de tempo dos projetos de segurança no transporte ferroviário.

Os principais elementos responsáveis pela absorção da energia gerada em uma colisão, em ordem de atuação, são: os engates, os amortecedores, os dispositivos estruturais logo atrás dos amortecedores e a própria estrutura do veículo.

A combinação correta de todos estes elementos irá proporcionar um ambiente seguro aos passageiros em eventos de colisão, além de um maior conforto durante a operação normal do veículo.

## MEDIDAS DE SEGURANÇA: SEGURANÇA PASSIVA x SEGURANÇA ATIVA

Segurança do sistema é a aplicação de princípios de gestão e engenharia visando à eliminação ou redução dos riscos com a utilização dos recursos disponíveis. O princípio da elaboração das medidas de segurança é de começar a aplica-las nas fases iniciais do projeto, em planejamento e design, ao invés de gerenciá-las durante a vida útil do veículo, ou seja, durante a operação.

O gerenciamento de riscos nas fases de operação depende de fatores humanos e infelizmente, a maioria dos acidentes ocorre como resultado destes fatores [9]. O sistema de segurança concentra-se na redução da dependência de fatores humanos para prevenir acidentes.

As medidas de segurança são classificadas em: Segurança Passiva e Segurança Ativa.

A segurança ativa baseia-se na prevenção do acidente, fornecendo subsídios para reduzir a probabilidade de que o acidente ocorra. Entre os equipamentos responsáveis pela segurança ativa temos os sistemas de freio, a sinalização da via e os sistemas de gerenciamento da operação.

A segurança passiva considera que o acidente é iminente e irá ocorrer. Dessa forma, o foco é a capacidade de reduzir a gravidade das consequências deste acidente em termos de danos materiais e físicos. Os engates e sistemas de amortecimento são um dos principais componentes responsáveis pela segurança passiva do veículo ferroviário. Outros elementos que também se enquadram neste conceito são os anti-encavalamentos e os postes de colisão, parte das estruturas do veículo.

## CENÁRIOS DE COLISÃO

Diversas normas definem os cenários de colisão para veículos ferroviários. Estas normas foram sendo elaboradas e aperfeiçoadas ao longo das últimas décadas devido ao grande desenvolvimento do transporte ferroviário e consequente aumento da necessidade de melhorias na segurança operacional. Além disso, muitos operadores também possuem seus próprios requerimentos no que diz respeito aos cenários de colisão com base na experiência operacional e nas condições das vias.

Uma das normas que tratam deste tema é a norma europeia EN15227. Os principais objetivos dessas normas são determinar parâmetros para garantir a integridade do espaço de sobrevivência dos passageiros, melhorar o ambiente interno do veículo e evitar o descarrilamento dos vagões após a colisão.

Para compreender os cenários de impacto definidos pela EN15227, primeiro deve-se entender como os tipos de veículos ferroviários são classificados, de acordo com o tipo de operação. Esta classificação é descrita na Tabela 1.

**Tabela 1 - Categorias de veículos de acordo com a EN15227.**

<b>Categoria</b>	<b>Definição</b>
<b>C-I</b>	<b>Veículos projetados para operar em vias TEN (Trans-European Networks), internacionais, nacionais e regionais (que possuem passagens de nível).</b>
<b>C-II</b>	<b>Veículos urbanos projetados para operar somente em uma infraestrutura ferroviária dedicada, sem interferência com o tráfego rodoviário.</b>
<b>C-III</b>	<b>Veículos leves sob trilhos projetados para operar em vias urbanas ou regionais, com compartilhamento de vias e interface com o tráfego rodoviário.</b>
<b>C-IV</b>	<b>Veículos leves sob trilhos projetados para operar em vias urbanas dedicadas com interface com o tráfego rodoviário.</b>

Com base na classificação dos tipos de veículos ferroviários, os cenários de impacto são definidos conforme ilustrados na Figura 2 e descritos na Tabela 2.

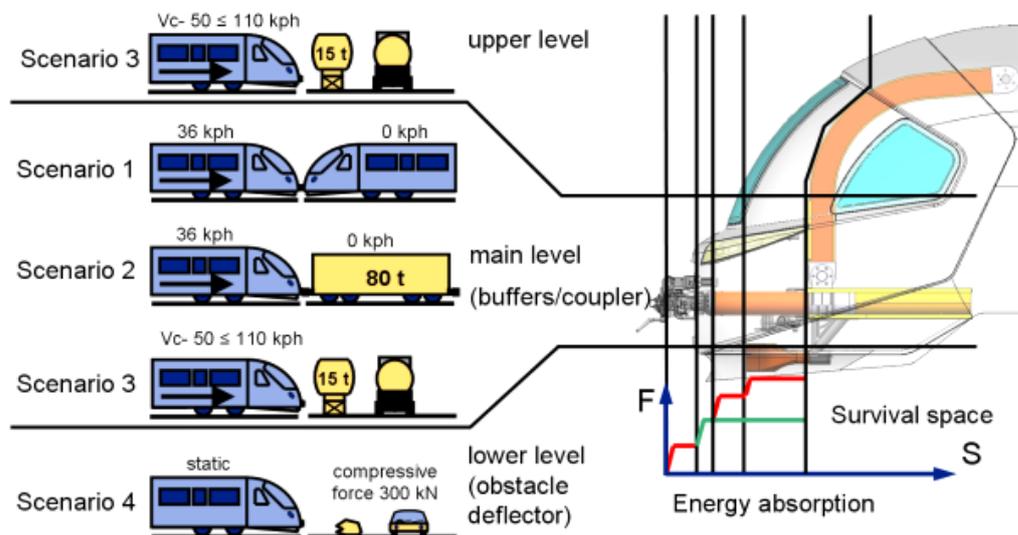


Figura 2 – Cenários de impacto definidos pela EN15227.

Tabela 2 – Definição dos cenários de impacto de acordo com a EN15227.

Cenário de colisão	Obstáculo de colisão	Características operacionais do requerimento	Velocidade de colisão – km/h			
			C-I	C-II	C-III	C-IV
1	Unidade de trem idêntica	Todos os sistemas	36	25	25	15
2	80 t Vagão	Tráfego misto com veículos equipados com amortecedores laterais	36	n.a.	25	n.a.
	129 t Trem regional	Tráfego misto com veículos equipados com engate central	n.a.	n.a.	10	n.a.

3	15 t Obstáculo deformável	TEN e operação similar com passagens de nível	Nota <sup>1</sup>	n.a.	25	n.a.
	3 t Obstáculo rígido	Linha urbana não isolada do tráfego rodoviário.	n.a.	n.a.	n.a.	25
4	Obstáculo pequeno e baixo	Requerimento de deflexão dos obstáculos deve ser atingido	Nota <sup>2</sup>	n.a.	Nota <sup>2</sup>	n.a.

O projeto SAFETRAIN identificou duas principais causas de danos de passageiros em acidentes de trem são impactos secundários e a perda do espaço de sobrevivência por meio de esmagamento. O principal objetivo de qualquer requerimento de colisão é de minimizar os danos causados por esses dois fatores [2].

Os principais parâmetros para determinação dos mecanismos de segurança passiva durante uma colisão são:

- Configuração do trem (número de carros);
- Distribuição das massas (peso individual de cada carro);
- Velocidade de impacto;
- Tipo de cenário.

---

<sup>1</sup>  $v_{lc} - 50 \leq 110$  ( $v_{lc}$ : máx. velocidade operacional da composição em passagens de nível).

<sup>2</sup> De acordo com a Tabela 3 da EN15227.

Os sistemas de amortecimento integrados aos engates, como um dos elementos principais da segurança passiva do veículo, devem ser projetados de forma a obter seu melhor desempenho durante os cenários de impacto estipulados tanto pelo operados, quanto pelas normas aplicáveis.

## CONCEITOS DE ABSORÇÃO DE IMPACTO

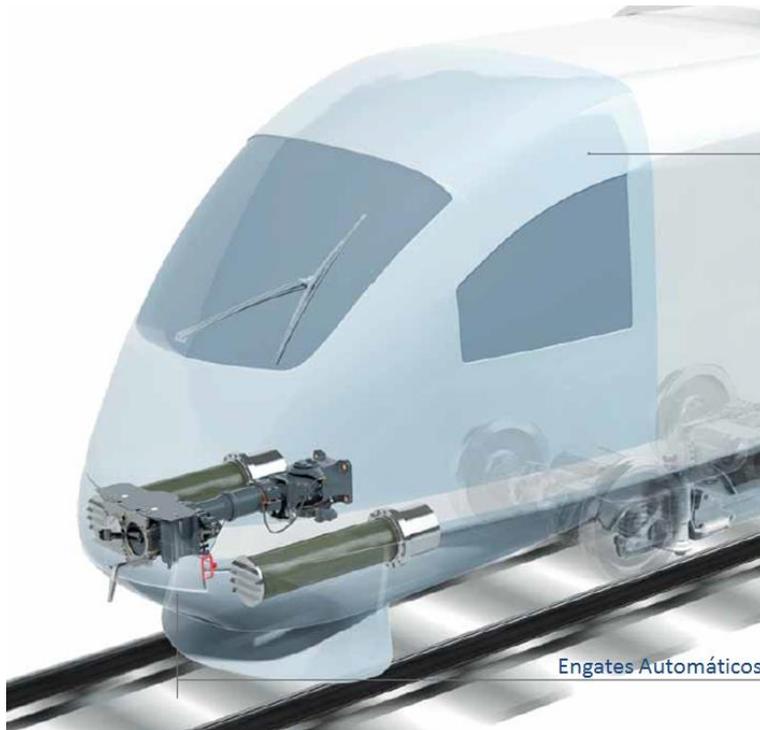
A absorção de impacto em um cenário de colisão ocorre através de dispositivos denominados como amortecedores, que dissipam a energia mecânica gerada no sistema.

O amortecimento ocorre pelo processo de retirada de energia do sistema elástico. A energia é consumida por meio de atrito externo (entre peças móveis) ou interno (entre as moléculas do material), resultando em uma dissipação de energia na forma de calor.

O amortecimento pode ser classificado em três tipos:

- Amortecimento viscoso: resultante do atrito entre um corpo sólido e um fluido viscoso. A força de atrito viscoso é diretamente proporcional à velocidade relativa entre o sólido e o fluido.
- Amortecimento seco: é o que ocorre devido ao atrito entre dois sólidos sem lubrificação.
- Amortecimento estrutural: resultante do atrito interno entre moléculas quando um sólido é deformado, fazendo com que a energia seja dissipada pelo próprio material deformado.

O engate ferroviário (Figura 3) é o primeiro elemento a atuar na absorção de energia durante uma colisão entre trens. Para isso, existem diversos tipos de sistemas de amortecimento regenerativos e não regenerativos.



**Figura 3 – Engates Automáticos em veículos ferroviários**

Sistemas de amortecimento regenerativos são aqueles que mantêm sua capacidade de absorção de energia mesmo após a colisão ter ocorrido, dentre eles podemos citar sistemas de absorção por elementos de borracha, hidrostáticos, anéis-mola ou gás-hidráulico.

Sistemas de amortecimento não regenerativos são projetados para funcionar como um sistema fusível, o qual irá atuar somente uma vez, devendo ser substituído após o impacto.

Esse tipo de amortecimento não regenerativo pode ser obtido através de parafusos fusíveis ou tubos de deformação.

A determinação do sistema de amortecimento mais adequado leva em consideração o cenário de impacto requerido. Normalmente, a velocidade admitida para um acoplamento durante a operação dos trens fica entre 3,0 e 4,0km/h. Acima disso pode-se considerar o impacto como acidental, ou seja, fora dos procedimentos estipulados em operação, havendo necessidade de algum tipo de amortecedor para absorver os esforços gerados nessa colisão.

Normalmente, para veículos entre C-I e C-II (conforme Tabela 1), são requisitados amortecedores capazes de absorver o impacto de forma regenerativa em velocidades entre 5,0 e 10,0km/h e, de forma não regenerativa, para velocidades superiores. Texto do diagnóstico

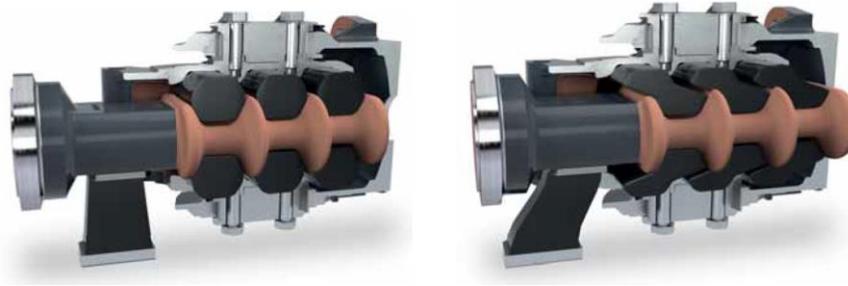
## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **1. SISTEMAS DE AMORTECIMENTO REGENERATIVOS**

#### **a. Amortecedor EFG**

A sigla EFG é a abreviação do termo em alemão Elastomerfedergelenk que pode ser traduzido como articulação de molas elastômeras. Trata-se de um conjunto de elementos em forma de semi-anéis fabricados com polímeros com propriedades elásticas desenvolvidas para absorver esforços de tração e compressão (Figura 4). Esse sistema é integrado ao ponto de articulação do

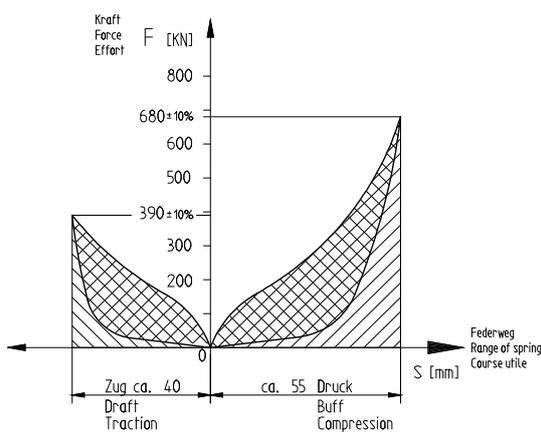
engate possibilitando a movimentação horizontal, vertical e torcional dos engates durante a operação.



**Figura 4 – Sistema de Amortecimento EFG3**

Durante a compressão e a tração do engate, o conjunto de elementos elásticos é comprimido para frente ou para trás, e essa compressão resulta na absorção de energia.

Esse tipo de amortecedor não possui uma pré-carga para atuação, ou seja, sua curva de amortecimento se inicia exatamente no ponto zero de força e deslocamento (Figura 5).



**Figura 5 – Curva típica de absorção de um sistema EFG3.**

A principal vantagem desse tipo de amortecedor é o baixo desgaste dos componentes e reduzidos custos de manutenção.

b. Amortecedor EFA

O termo EFA também é proveniente do Alemão (Elastomerfederanlenkung) e significa Articulação Elastômera. Assim como o EFG, esse sistema é composto por elementos fabricados com polímeros com propriedades elásticas desenvolvidas para absorver esforços de tração e compressão. Nesse caso, esses elementos possuem a forma de um anel e também estão integrados ao sistema de articulação do engate, possibilitando movimentos cardânicos do mesmo (Figura 6).



**Figura 6 – Sistema de Amortecimento EFA**

c. Conjunto de Anéis-Mola

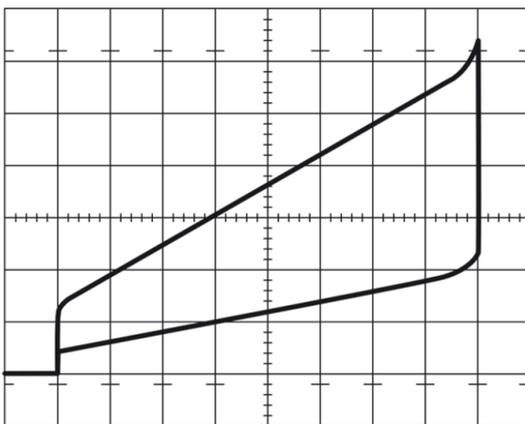
O sistema de Anéis-Mola consiste em um conjunto de anéis cônicos internos e externos montados um sob o outro em forma de coluna (Figura 7). A fricção e a deformação elástica entre os anéis são as responsáveis pela absorção de energia proveniente de esforços de tração, compressão ou ambos.



**Figura 7 – Conjunto de Anéis-Mola**

Este tipo de amortecedor é livre de manutenção, ou seja, durante o período de operação, não é necessário nenhum tipo de intervenção como, por exemplo, serviços de lubrificação.

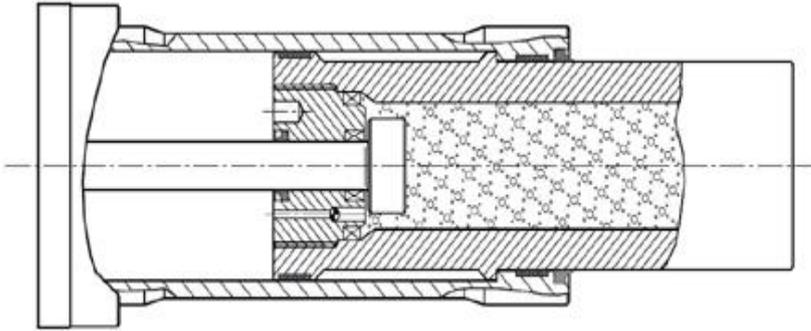
O conjunto de anéis-mola é montado no engate sob um pré-carga específica garantindo que o mesmo somente atue quando ultrapassado este valor de pré-carga e, além disso, possui uma curva de amortecimento linear, independente da velocidade (Figura 8).



**Figura 8 – Curva típica de absorção de um conjunto de anéis-mola.**

d. Amortecedor Hidrostático

O amortecedor hidrostático consiste de uma capsula pressurizada, com um pistão, preenchida com um fluido viscoso compressível (Figura 9).



**Figura 9 – Amortecedor Hidrostático**

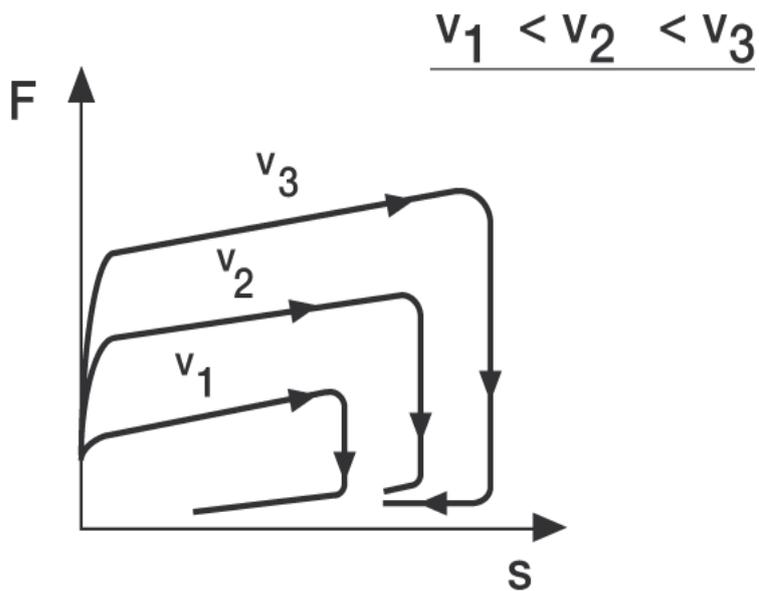
Quando não está atuado, o fluido viscoso já se encontra sob alta pressão (aproximadamente 800 bar dependendo da versão).

À medida que forças longitudinais são aplicadas nesse sistema, o pistão se move dentro da capsula e a alteração do volume em combinação com o movimento do fluido resulta na absorção de energia.

Durante a compressão do cilindro, o fluido é comprimido e a pressão interna da cápsula aumenta.

Quando a carga do pistão é aliviada, o mesmo retorna automaticamente para sua posição inicial e novamente pronta para operação.

A velocidade de impacto é uma variável importante para esse tipo de amortecedor. Velocidades menores resultam em forças de reação mais baixas e menor deslocamento, enquanto velocidades mais altas resultam em um aumento da força de reação a maiores deslocamentos (Figura 10).



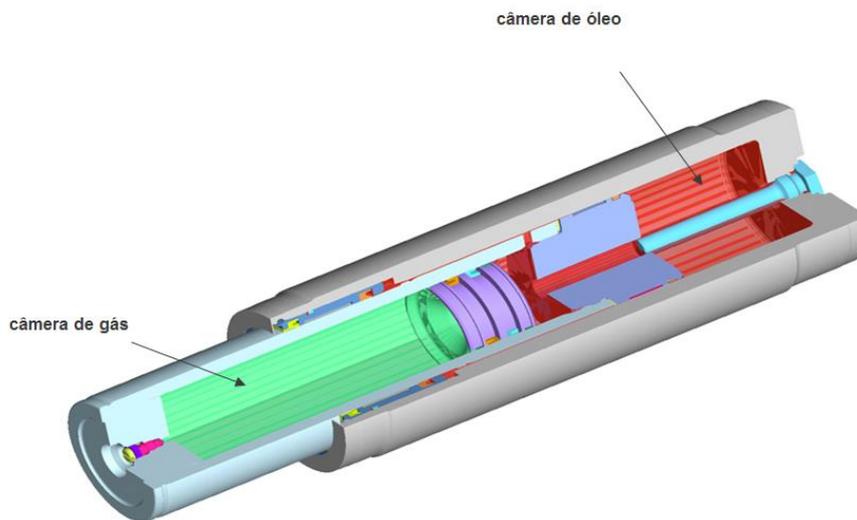
**Figura 10 – Influência da velocidade na curva de absorção dos amortecedores hidrostáticos.**

Dessa forma, o parâmetro de velocidade de impacto é crucial para o projeto desse amortecedor de forma que o mesmo obtenha o melhor desempenho no ponto de velocidade especificado.

O amortecedor hidrostático necessita de uma elevada força de impacto para atuação (alta pré-carga), sendo assim uma ótima combinação com o sistema EFG, que inicia sua absorção desde o início do deslocamento.

e. Amortecedor Gás-Hidráulico

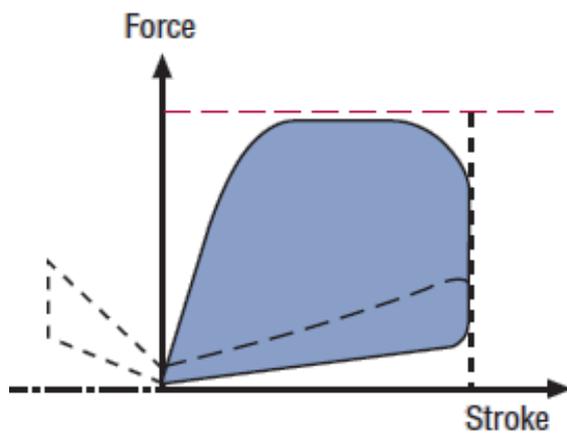
O sistema de amortecimento gás-hidráulico é composto de uma capsula com duas câmaras separadas, uma com óleo e outra com gás (Figura 11).



**Figura 11 – Amortecedor Gás-Hidráulico**

O princípio de funcionamento desse tipo de amortecedor consiste em pressionar um pistão dentro da câmara preenchida com óleo, fazendo com que a alteração de volume em combinação com o movimento do fluido resulte em uma absorção de energia. Assim que a energia de impacto é totalmente absorvida, a câmara de gás é responsável por empurrar o pistão para sua posição inicial, deixando-o apto a operar novamente.

Assim como o sistema hidrostático, esse tipo de amortecedor também possui uma pré-carga de acionamento definida, contudo, essa pré-carga pode ser bem mais baixa em comparação com o sistema gás-hidráulico (Figura 12).



**Figura 12 – Curva típica de absorção de um amortecedor gás-hidráulico.**

Este tipo de amortecedor também é altamente dependente da velocidade de impacto, sendo esta preponderante para o projeto do mesmo.

Dentre os amortecedores de impactos mais utilizados nos engates, o gás-hidráulico é o amortecedor regenerativo com melhor eficiência energética podendo ser projetado para altos níveis de força.

## 2. SISTEMAS DE AMORTECIMENTO NÃO-REGENERATIVOS

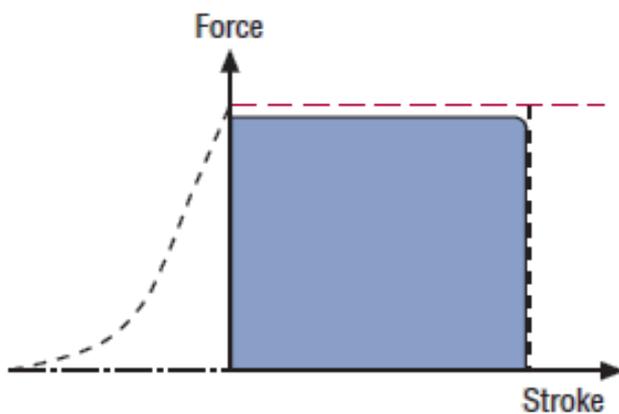
### a. Tubo de Deformação

Neste tipo de sistema, a absorção de energia dá-se através da deformação de um tubo metálico.



**Figura 13 – Tubo de Deformação**

Os tubos de deformação são projetados para atuar sob uma carga específica e sua absorção ocorre de forma linear, com máxima eficiência (Figura 14).



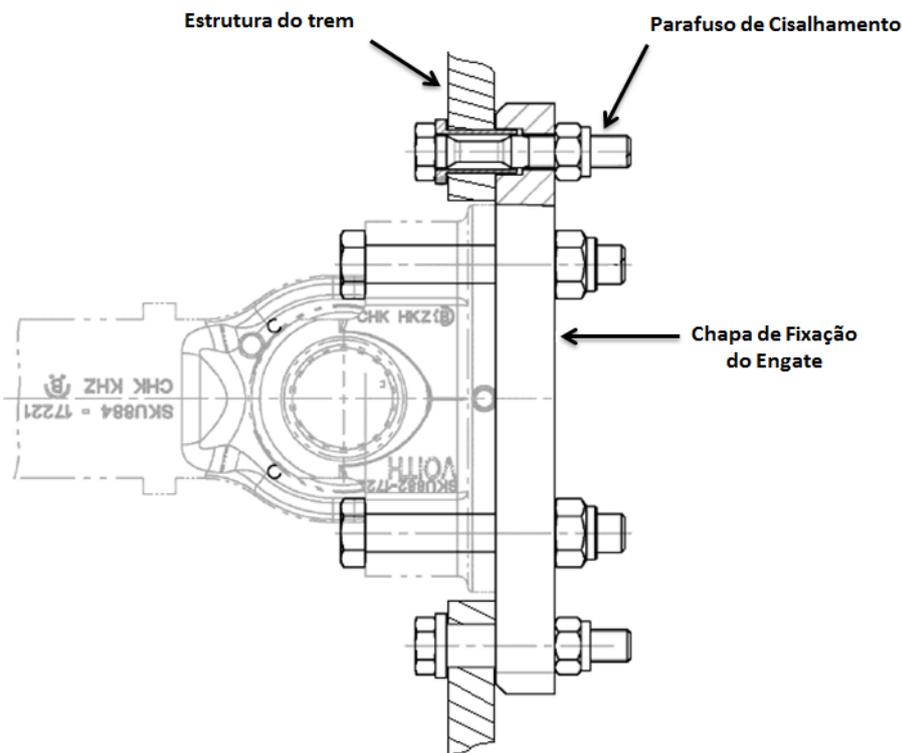
**Figura 14 – Curva típica de absorção de um tubo de deformação.**

O projeto da força de atuação do tubo de deformação deve estar devidamente sincronizado com os esforços que devem ser suportados pela estrutura do trem.

Trata-se de um sistema com baixo custo de vida útil visto que é livre de qualquer tipo de manutenção durante a operação do veículo.

b. Parafusos Fusíveis

Os parafusos fusíveis são normalmente integrados na interface de montagem do engate com a estrutura do trem (Figura 15) e têm como função romper sob um determinado nível de carga, soltando o engate da estrutura do trem e consequentemente protegendo a integridade da mesma.

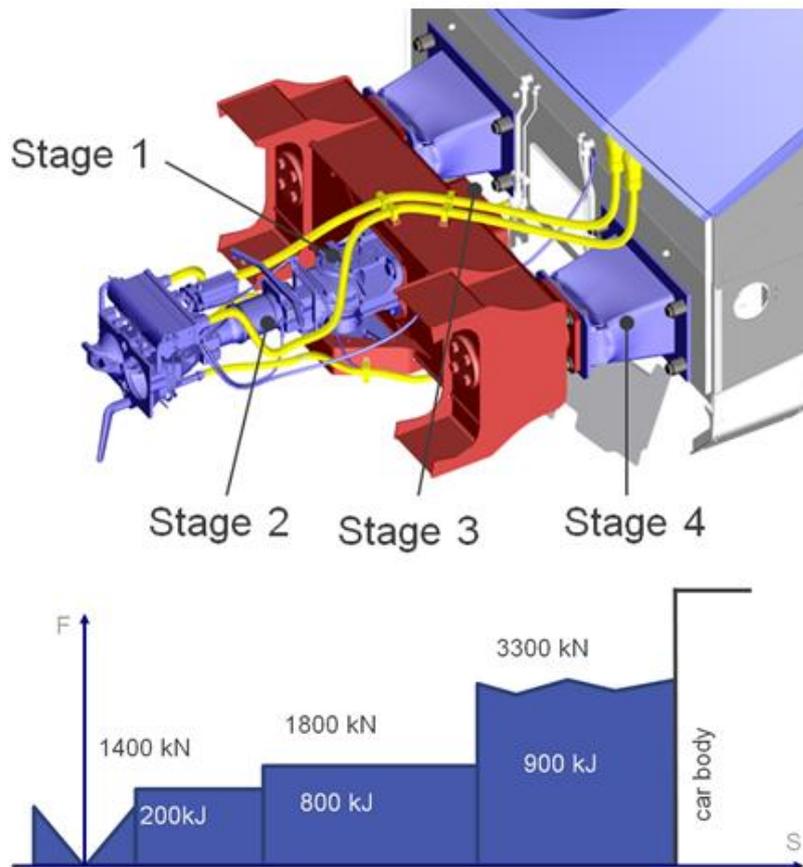


**Figura 15 – Parafusos de Cisalhamento**

3. COMBINAÇÃO DE SISTEMAS DE AMORTECIMENTO

Visando um aumento da capacidade de absorção de energia de um veículo ferroviário, os diversos sistemas de absorção apresentados podem ser combinados de forma a se obter uma maior eficácia na proteção do espaço de sobrevivência da composição quando sujeito a altos níveis de impacto.

Para um melhor aproveitamento de cada sistema, quando combinados, a absorção de energia deve ser feita de forma progressiva e controlada. As forças de atuação de cada sistema devem ser devidamente projetadas para atuarem sequencialmente, aproveitando ao máximo a capacidade de cada amortecedor, evitando que dois sistemas atuem simultaneamente (Figura 16).



**Figura 16 – Combinação de diferentes sistemas de absorção.**

Além disso, todas as interfaces entre carros de uma composição também devem ser projetadas para absorver uma parcela da energia de impacto garantindo uma maior uniformidade da energia transmitida para cada carro durante a colisão.

## **CONCLUSÕES**

Os sistemas de amortecimento em um veículo ferroviário são os principais responsáveis pela segurança passiva do sistema, com a finalidade de reduzir o impacto causado durante uma colisão e principalmente garantir a integridade dos passageiros e condutores, sendo que a perda do espaço de sobrevivência do trem é a principal causa de fatalidades durante os acidentes.

Entre os elementos de segurança mais importantes nessa redução de impacto, podem-se citar os sistemas de acoplamento entre carros e entre composições. Estes são os primeiros elementos a receberem a energia gerada durante a colisão e conseqüentemente responsáveis por absorver parcela dessa energia de forma a reduzir os danos gerados pela mesma na estrutura do trem.

Sistemas de gerenciamento de energia são projetados para controlar a absorção do impacto durante uma colisão e, como resultado, limitam a deformação estrutural do trem, maximizando a preservação do espaço ocupado pelos usuários do trem.

Existem diversos tipos de sistemas utilizados para esse gerenciamento de energia e a escolha do mesmo deve levar em consideração os níveis de esforços a serem absorvidos e o tipo de amortecimento desejado (regenerativo ou não). Além disso, a correta combinação de diferentes amortecedores pode proporcionar níveis de absorção de energia mais elevados.

Visto a importância desses sistemas para a segurança dos passageiros e integridade dos veículos, os sistemas de amortecimento devem ser criteriosamente determinados de forma que atendam da melhor maneira as condições operacionais especificadas pelo operador.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] BELYAEV, V. I., Standards and new design of absorbing devices for automatic SA-3 couplers. All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport, “VNIIZhT” JSC. Moscow, Russia – 2013.
- [2] CARVALHO, A. V., SCHARF, S., Part 1: SAFETRAIN Project Results and Rail Passive Harmonization – Bombardier Transportation.
- [3] European Rail Safety Technology – Accession State Workshop – Train Safe. Praga – 2004.
- [4] GARG, V.K., DUKKIPATI, R.V., Dynamic of railway vehicle systems. Academic Press. 1984.
- [5] HARISH BM, MALLES AP, K. PRAKASH, SUDHARSHAN M., Crashworthiness Analysis of Metro Cars (as per international railway standard EN15227). Altair Technology Conference, India – 2015.
- [6] KOPP, K., Rail Vehicle Level 200 – Subject Overview – Module: 201 – Couplers.
- [7] MILHO, J. F., AMBROSIO, J.A.C., PEREIRA, M.F.O.S., Optimization of train structural components for crashworthiness. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering – ECCOMAS. Jyväskylä – 2004.

- [8] PEREIRA, M. S., Structural Crashworthiness of Railway Vehicles. IDMEC, Department of Mechanical Engineering – Technical University of Lisbon.
- [9] Research Results Digest 85 – International Transit Studies Program. Report on the Fall 2006 Mission. August – 2007.
- [10] SHABANA, AHMED A., ZAAZAA, K.E., SUGIYAMA, H., Railroad vehicle dynamics: a computational approach. CRC Press – Taylor & Francis Group, 1951.
- [11] TYREL, D., JACOBSEN, K. MARTINEZ, E., PERLMAN, A. B., A train-to-train impact test of crash energy management passenger rail equipment: Structural results. International Mechanical Engineering Congress and Exposition-IMECE. Chicago-2006.