

MÓDULO 4: TOMBAMENTO DE VEÍCULOS DE CARGA

Escola de
Transportes

Instrutor
Eng. Rubem Pentead de Melo, MSc.

rubem@transtech.com.br

41 3033-8700 / 9996-2526



2010



1. POR QUE CAMINHÕES E CARRETAS TOMBAM COM FACILIDADE?

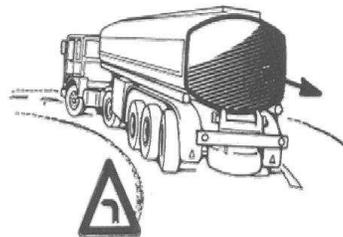
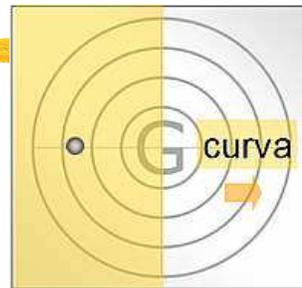


Quem assiste Fórmula 1, tem visto o comentarista falar em uma tal “força g”, e que essa “força g” nas curvas chega a quase “5 g’s”.

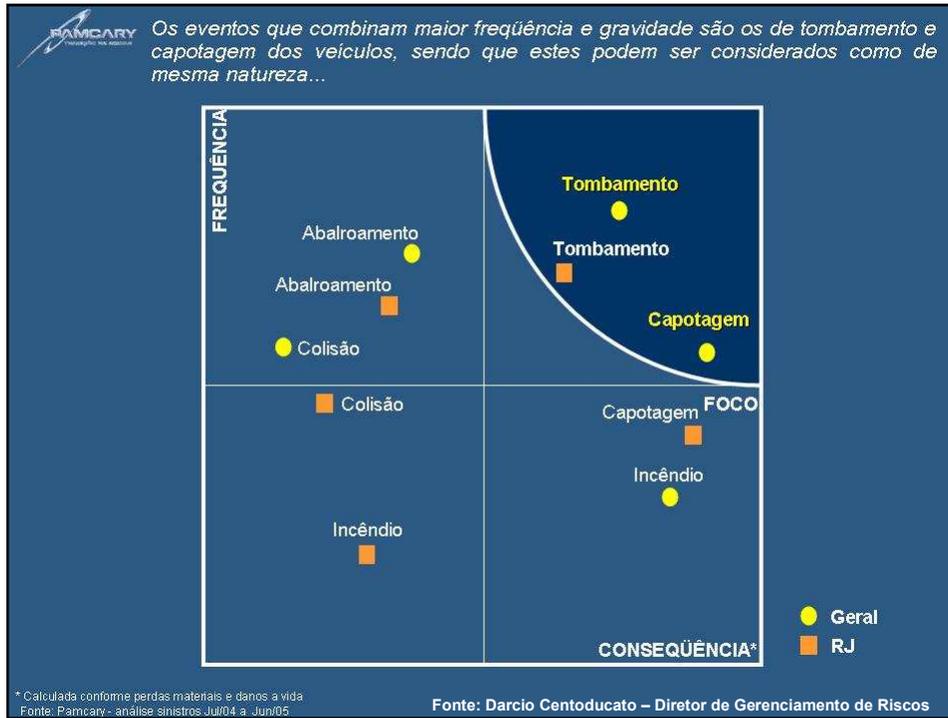
Essa “força g” é na verdade a aceleração lateral gerada em uma curva ou manobra, medida na unidade da aceleração da gravidade ($g = 9,8m/s^2$). É essa aceleração lateral que causa aquela força que nos empurra contra a porta do automóvel durante curvas em velocidade.

Muito bem. É essa aceleração lateral que tomba os caminhões. A diferença é que enquanto um Fórmula 1 pode suportar 5 g’s sem derrapar ou tombar, a maioria dos caminhões já tomba se experimentar entre 0,4 e 0,6 g’s. Normalmente, automóveis de passeio derrapam antes de tombar.

Mas caminhões carregados tombam antes de derrapar.



COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



transtech ENGENHARIA E INSPEÇÃO S/C

2. PORQUE CAMINHÕES E CARRETAS TOMBAM COM FACILIDADE

A medida básica para avaliação da estabilidade lateral dos veículos é o chamado Limiar de Tombamento Lateral Estático - **SRT** (*Static Rollover Thresold*) expresso como a aceleração lateral, em g's, máxima antes de ocorrer o tombamento lateral do veículo.

Automóveis apresentam SRT maior que 1 g enquanto camionetas e vans entre 0,8 e 1,2. Já veículos de carga apresentaram abaixo de 0,5 g. Se a aceleração lateral gerada em uma curva ou manobra de emergência ultrapassar esse limite, o veículo, de forma inevitável, tombará. O SRT é representado pelo valor da aceleração lateral capaz de causar o levantamento dos pneus do lado interno da curva, momento a partir do qual o tombamento é considerado inevitável.

$$A := \frac{(V)^2}{\text{Raio}} \cdot \frac{1}{g}$$

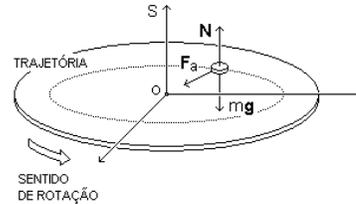
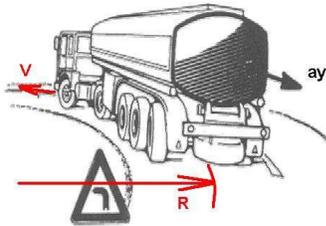


2. PEQUENO ESCLARECIMENTO DA FÍSICA DAS ROTAÇÕES



A física diz que no movimento curvilíneo uniforme ($v=cte$) a aceleração gerada é chamada normal e vai de fora para o centro. E a força gerada é chamada “centrípeta” (de fora para o centro). Como no exemplo do disco.

Então por que no desenho da carreta a aceleração do movimento curvilíneo está para fora da curva e não para dentro?



É fácil de sentir (quando fazemos uma curva em velocidade “aparece” uma força que nos empurra para fora e não para dentro), mas é “difícil” de explicar !

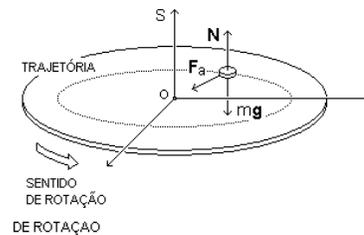


2. PEQUENO ESCLARECIMENTO DA FÍSICA DAS ROTAÇÕES



A diferença está no referencial. Quando olhamos o sistema de “longe” estamos no “Referencial Inercial”. E realmente só percebemos a Força Centrípeta e a Aceleração normal.

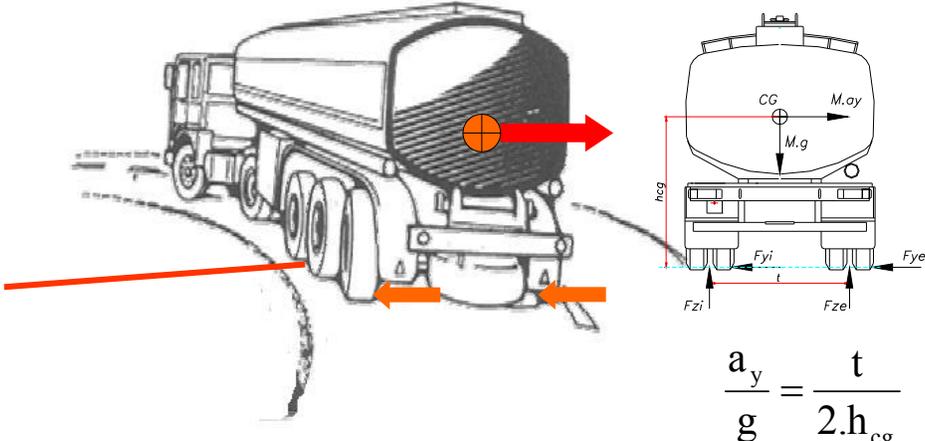
Mas quando colocamos o Referencial no disco (“Referencial Não-inercial”) aparece a famosa força “centrífuga”. A força centrífuga é uma força de inércia que age apenas em referenciais não inerciais dotados de aceleração centrípeta, isto é, referenciais em rotação.



Está justamente aí a confusão: a força centrípeta no caso do caminhão, atua pelo atrito lateral dos pneus, e a força inercial (centrífuga) atua no seu Centro de Gravidade!

Referencial inercial é um sistema de referência em que corpos livres (sem forças aplicadas) não têm o seu estado de movimento alterado

 **2. PEQUENO ESCLARECIMENTO DA FÍSICA DAS ROTAÇÕES** 



$$\frac{a_y}{g} = \frac{t}{2 \cdot h_{cg}}$$

 **Como se determina esse “Limiar de Tombamento”?** 



Calculando ou no ensaio “*tilt table*”: a plataforma é inclinada até o momento que os pneus perdem o contato com o piso. A tangente do ângulo capaz de provocar esse efeito corresponde ao valor do SRT do conjunto em g’s.

COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



Alguns valores -- Canadá

Nitrogênio líquido: 0,365 g's (Canadá)

Propano: 0,310 g's (Canadá)

The complex block contains two photographs of tanker trucks. The top photo shows a white tanker truck with a silver tank. The bottom photo shows a white tanker truck with a silver tank. The text 'Nitrogênio líquido: 0,365 g's (Canadá)' is positioned below the top photo, and 'Propano: 0,310 g's (Canadá)' is positioned below the bottom photo. The logos for 'transtech' and 'Ivesur Brasil' are also present.

COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

 **transtech**
ENGENHARIA E INSPEÇÃO S/C

Alguns valores -- Canadá

 **Ivesur**
Brasil

0,310 g's

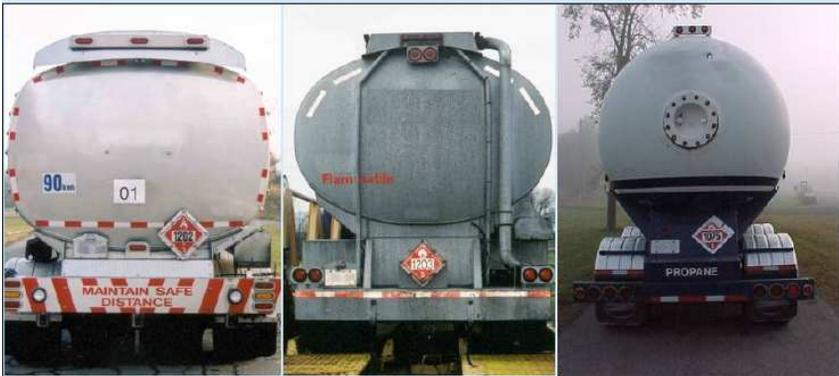


0,605 g's



 **transtech**
ENGENHARIA E INSPEÇÃO S/C

 **Ivesur**
Brasil



0.415 g 0.343 g 0.310 g

É um acidente "simples": atingiu esse valor – *bingo*: tombou!

COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



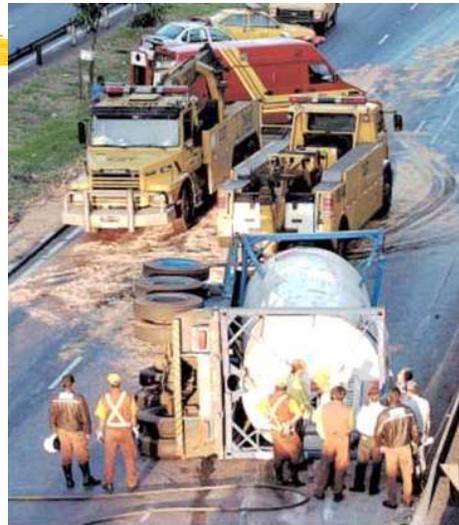
ALGUNS VEÍCULOS CRÍTICOS



- Carretas Criogênicas (GLP, Amônia, etc) e Bob-tail– Vasos de pressão (baixo SRT – centro de gravidade alto e parcialmente cheio 85/15)
- CVCs – Bitrens e rodotrens (sofrem “amplificação traseira”)
- Tanques parcialmente cheios (efeito “slosh”. Transporte de Cloro, por ex.)
- Porta-Container com ISO TANQUE (centro de gravidade alto e pode ser carregado parcialmente no embarcador – “sem controle” para o transportador)
- Porta-Container (centro de gravidade alto + distribuição desconhecida pelo motorista – container é lacrado)
- Veículos com excesso de carga
- Betoneiras (centro de gravidade elevado + giro do tambor e da carga)
- Cegoneiras, Furgões e Siders altos, etc.



ALGUNS VEÍCULOS CRÍTICOS



COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



Porque PORTA-CONTAINER é crítico:

- Porque o carregamento é um incógnita e inacessível (lacrado) e não tem como o motorista perceber antecipadamente se o Centro de Gravidade da carga dentro do container é baixo, alto ou muito alto! (percebe apenas na condução e aí pode ser tarde).
- Normalmente são veículos antigos e em más condições de manutenção.

Módulo 4

COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



Porque ISO-TANQUE (CONTEINER) é crítico:



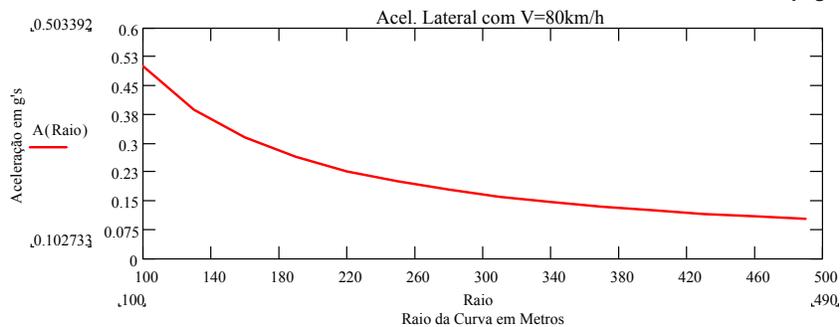
- Porque é na verdade um tanque mas tem o Centro de Gravidade + alto que um tanque convencional.
- Porque pode vir parcialmente cheio e o balanço do líquido aumento o risco de tombamento (não existe regra – rodoviária – para volume mínimo cheio).
- (Por isso recomenda-se o uso de “carretas rebaixadas”)



Aceleração Lateral em Curvas

A aceleração lateral gerada nas curvas é função da velocidade e do raio:

$$A := \frac{(V)^2}{\text{Raio}} \cdot \frac{1}{g}$$



“As placas devem garantir uma aceleração máxima de 0,22g´s”

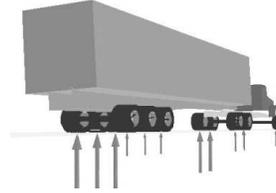


Outro Critério de Desempenho



Desempenho Direcional – alta velocidade:

- ⌘ **Razão de Transferência de Carga Dinâmica** (*Dynamic Load Transfer Ratio*): é a medida da razão de transferência de carga de um lado para outro do veículo em movimento, submetido as manobras;
- ⌘ Está relacionado com o tipo e a rigidez da suspensão. valor do DLTR varia sempre entre 0 e 1, onde 0 significa nenhuma transferência de carga e 1 significa transferência total de carga de um lado para outro. (Considerado satisfatório até no máximo 0,6);
- ⌘ Relação também com barra estabilizadora.



Razão de Transferência de Carga Dinâmica



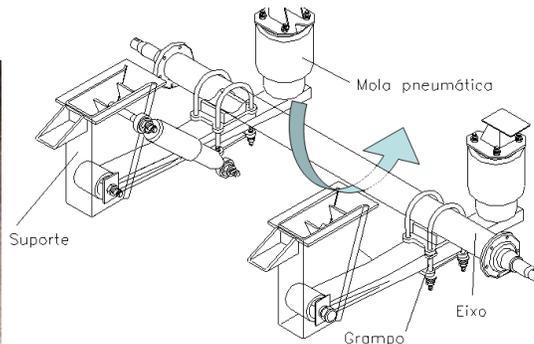
SR30-Omni steering robot installed in truck cab



Detalhe: a estabilidade com SUSPENSÃO PNEUMÁTICA



- Suspensão pneumática é mais “amigável” com o pavimento, melhor distribuição de carga entre os eixos.
- Carreta mais estável ao tombamento --- Viga de eixo atua como barra de torção (se os grampos estiverem apertados!).



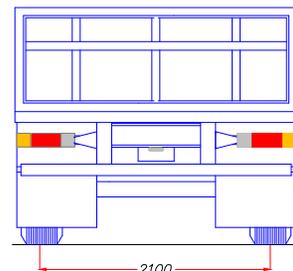
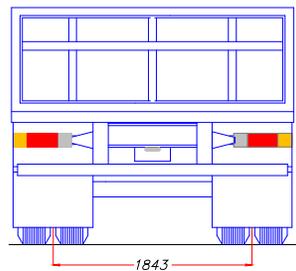
Single x Duplos



Embora, segundo os especialistas, pneus single causem mais danos aos pavimentos, carretas com single são mais estáveis ao tombamento (~14%), porque possuem bitola maior.

Bitola do Duplo = ~1.843 mm

Bitola do Single = ~2.100 mm



COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

 **transtech**
ENGENHARIA E INSPEÇÃO S/C



**Acidente 25/03/09 (ácido hidrofúrico) –
5.000 pessoas removidas - EUA**

 **transtech**
ENGENHARIA E INSPEÇÃO S/C

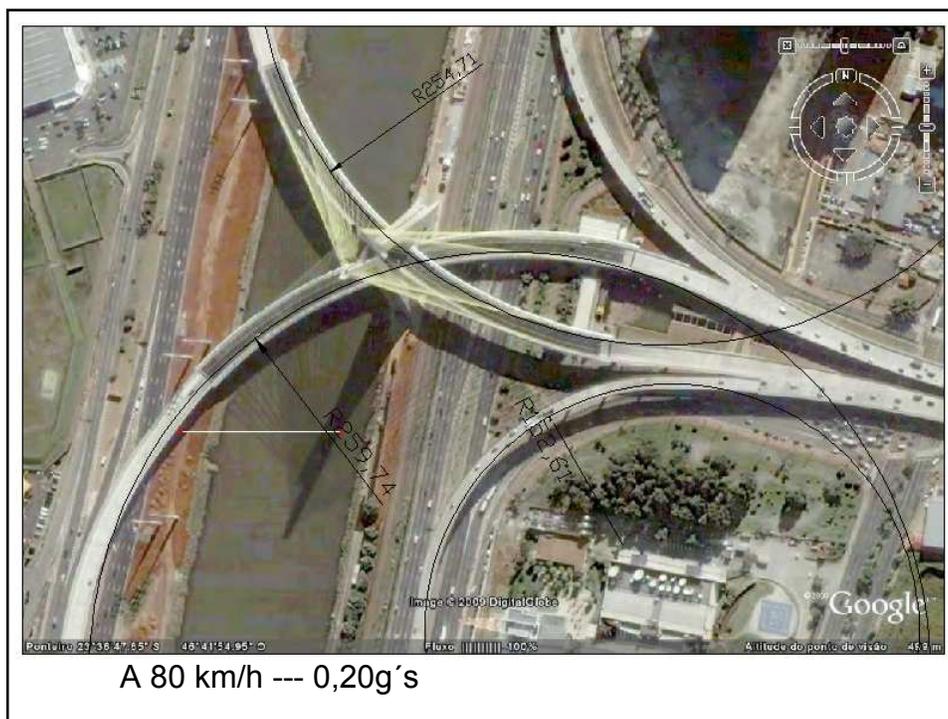
 **Ivesur**
Brasil



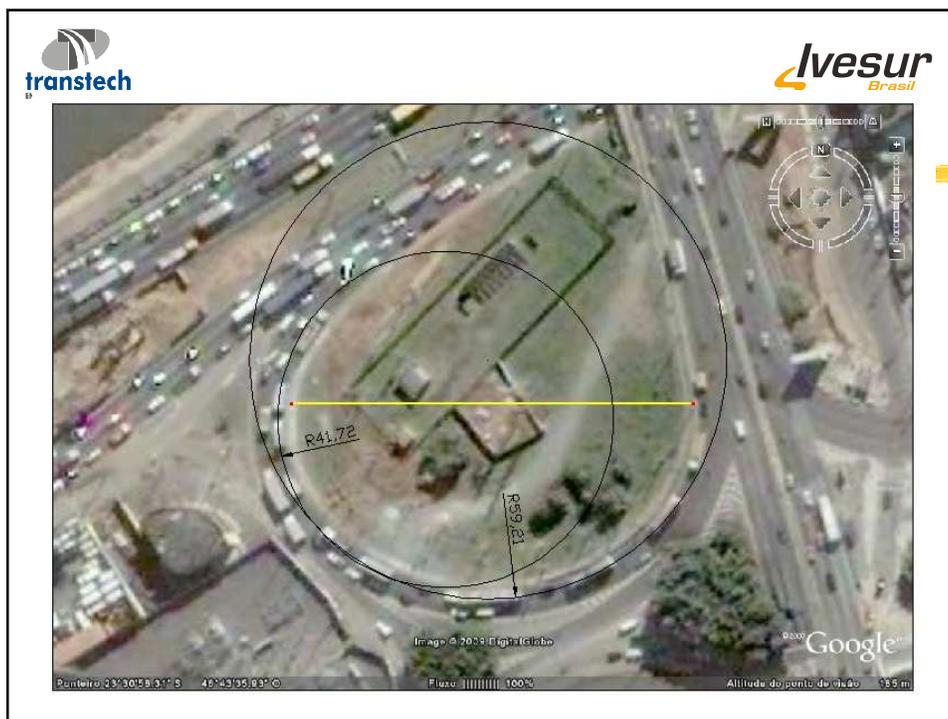
COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



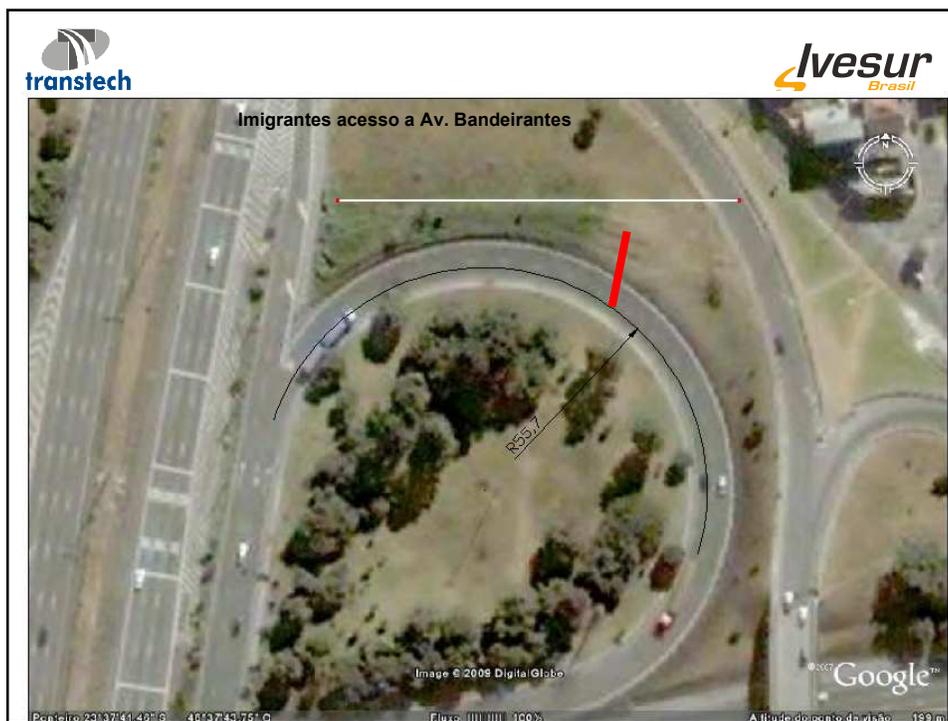
COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

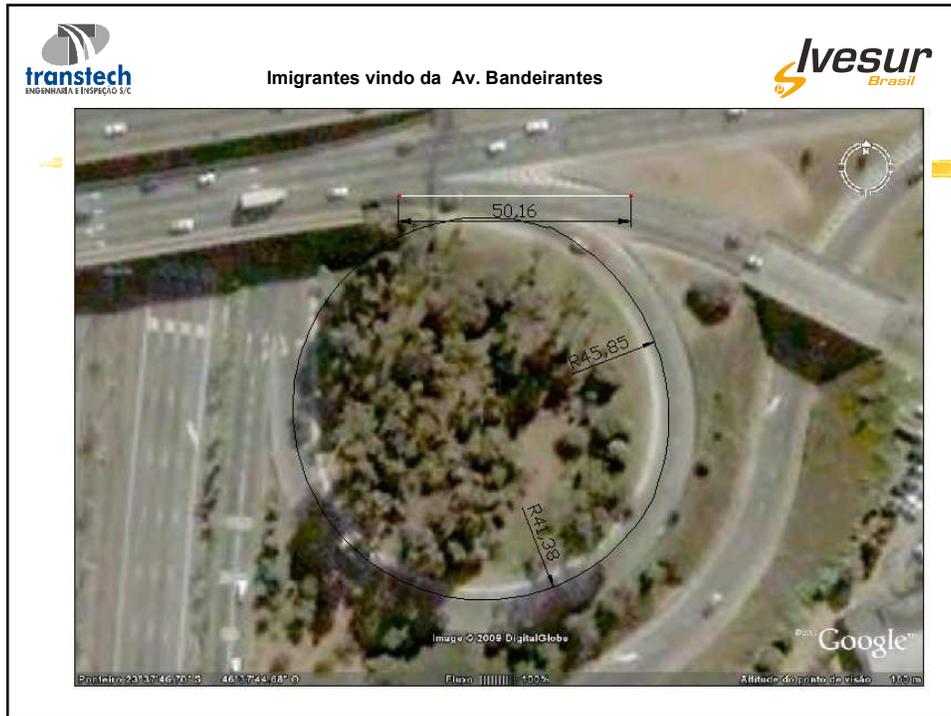


COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS





transtech **Ivesur Brasil**

Causas primárias

Vimos que um veículo de carga possui limites para as manobras. Ultrapassado esse limite o tombamento é inevitável. As três razões básicas que fazem com que o motorista ultrapasse o limite são:

- ✓1ª. O rodado da direita cai no acostamento. O motorista se assusta e puxa bruscamente o volante para trazer o conjunto para pista;
- ✓2ª. Outro veículo, acidente ou obstáculo cruza a frente do motorista repentinamente e o motorista se assusta e faz uma manobra evasiva brusca;
- ✓3ª. A Mais Comum: o motorista entra em uma curva acima da velocidade possível para aquele veículo.
 - ✓Ele sabe que tem 2 opções: deixar o veículo sair para fora da rodovia ou lutar para mantê-lo na pista;
 - ✓O instinto natural faz com que ele lute para manter o veículo na pista puxando bruscamente o volante, provocando o tombamento.



Causas primárias

Muitos motoristas dizem: “- *Eu vinha devagar. Perdi o controle. A carga deitou.....*”. Na maioria das vezes não é isso.

✓ A resposta pode estar no que se chama “**Adaptação à Velocidade**” (*speed adaptation*).

✓ Quando você dirige, objetos fixos parecem se mover em relação a você. Os objetos mostram-se em velocidades diferentes dependendo da distância. São recursos do cérebro humano para mostrar ao motorista aonde ele está na pista e aonde vai estar no próximo segundo. É fundamental para avaliar riscos e tomar decisões.

✓ Contudo, não é efetivo ou preciso para julgar sua velocidade e gradualmente ele perde a noção da velocidade!!! Faz com que ele entre nas curvas acima da velocidade segura e aí é tarde para correção.

✓ A única solução: adquirir o hábito de checar previamente a velocidade no velocímetro antes de entrar nas curvas.



NÃO SIGA AS PLACAS!



ISSO MESMO: muitas placas de velocidade máxima não valem para caminhão carregado. Estão ali para automóveis.

Portanto, nos pontos críticos, devem andar abaixo da velocidade das placas.

Pelo menos 10 km/h abaixo da velocidade indicada.





NÃO SIGA AS PLACAS!



SERGIO EJZENBERG 2009

Orientador: Prof. Dr. Hugo Pietrantonio

**OS VEÍCULOS PESADOS E A SEGURANÇA NO
PROJETO DAS CURVAS HORIZONTAIS DE
RODOVIAS E VIAS DE TRÂNSITO RÁPIDO**

As margens de segurança para o tombamento de veículos pesados resultantes da aplicação dos manuais de projeto Green Book 2004, DNIT 2005 e DNER 1999, são inadequadas e insuficientes para curvas de baixa e média velocidades (velocidade igual ou inferior a 60 km/h). Para automóveis, devido ao elevado SRT da categoria, as margens ao tombamento são generosas, confirmando o fato notório e confirmado na literatura que automóveis escorregam antes de atingirem o limite de tombamento lateral estático em curvas horizontais.



NÃO SIGA AS PLACAS!



A recomendação final que decorre do presente estudo é a necessidade de projetar e regulamentar a velocidade máxima nas curvas horizontais de rodovias e vias de trânsito rápido considerando separadamente as características e as necessidades de veículos pesados e de automóveis. Estabelecendo diferentes velocidades de projetos para essas distintas categorias de veículos, é possível garantir que, com margens adequadas de segurança, automóveis não escorreguem e veículos pesados não tombem em curvas horizontais.

É, portanto, necessário rever a base conceitual dos dois principais manuais brasileiros de projeto geométrico de curvas horizontais de rodovias e vias de trânsito rápido, para que os métodos neles empregados contemplem explicitamente as limitações de veículos pesados (ônibus e caminhões) quanto ao risco de escorregamento e tombamento lateral em curvas horizontais. Atenção especial deve ser dada às curvas de menor velocidade de projeto e maior greide e superelevação, exatamente aquelas que caracterizam alças de interseções e curvas em relevo montanhoso.

COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



PORQUE TOMBA NAS RETAS E CIDADES



A 2ª razão do tombamento é a **manobra brusca**:

- Quando o rodado cai no acostamento e o motorista tenta voltar rapidamente para a pista;
- Quando outro veículo invade sua pista e para evitar o choque frontal sai para o acostamento e tenta voltar bruscamente;
- Manobras bruscas na direção fazem o conjunto atingir o limite e podem tombar mesmo em vias urbanas.



PONTOS CRÍTICOS



ROTATÓRIAS, ALÇAS DE ACESSO DE VIADUTOS: REDUZIR A VELOCIDADE ABAIXO DA INDICADA NAS PLACAS. OLHE PARA O VELOCÍMETRO E CONFIRA A VELOCIDADE.



COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS



COMO REDUZIR ACIDENTES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS





PONTOS CRÍTICOS



QUANDO SAIR COM O RODADO NO ACOSTAMENTO, MANTENHA O CONJUNTO ALINHADO, REDUZA A VELOCIDADE E VOLTE DA FORMA MAIS SUAVE POSSÍVEL.



 **PONTOS CRÍTICOS** 

QUANDO ENTRAR EM UM PISTA PRINCIPAL, SÓ ACERELE QUANDO TODO CONJUNTO ESTIVER ALINHADO.



 **PONTOS CRÍTICOS** 

TRAVESIAS URBANAS: CUIDADO ESPECIALMENTE NAS CHEGADAS DAS RODOVIAS NOS CENTROS URBANOS - 5 km/h ACIMA DO LIMITE É SUFICIENTE PARA TOMBAR.





MUITO OBRIGADO



www.transtech.com.br/arquivos.php

41 3033-8700 / 9996-2526

➤ **TRANSPORTES E TRÂNSITO**

- Inspeção de Veículos que Transportam Produtos Perigosos – **CIPP**
- Inspeção para Veículos do MERCOSUL - **CITV**
- Inspeção de Segurança Veicular em Veículos Recuperados de Sinistros / Alterações de Características - **CSV**
- Ensaios de Veículos, Perícia de Engenharia e Reconstituição de acidentes

➤ **TREINAMENTO**

Treinamento Institucional e Operacional na área de Transporte

