

UMA INTERPRETAÇÃO DA NBR 10967 QUANTO AOS REQUISITOS PARA VEÍCULOS COMERCIAIS TRAFEGAREM EM DECLIVES LONGOS E ACENTUADOS

Marcos Kenji Fukuchi, Tiago Monteiro e Bruno Franceschine Canale
OPENCADD Advanced Technology Consulting Group

Fábio Ortega
EcoRodovias

Antonio Carlos Canale
EESC-USP

E-mails: marcos.fukuchi@usp.br, antonio.canale@opencadd.eng.br;
tiago.monteiro@opencadd.eng.br, bruno.canale@opencadd.eng.br,
Fabio.Ortega@ecovias.com.br

RESUMO

A operação de veículos comerciais (ônibus, caminhões e veículos combinados) em declives longos e acentuados sempre envolve riscos consideráveis e por esta razão ela é regulamentada, no Brasil, pela ABNT NBR 10967 [1].

A NBR 10967 estabelece limites e condições seguras de operações destes veículos em declives longos sendo então de grande interesse às montadoras e seus fornecedores (fabricantes dos veículos), aos órgãos governamentais responsáveis pelas rodovias, às concessionárias que administram estas rodovias, aos projetistas destas rodovias e aos frotistas e demais usuários. Um breve revisão sobre a NBR 10967 é então mostrada para enfatizar os requisitos que os veículos devem atender na operação em declives longos.

Há uma certa dificuldade de interpretação da norma pelos interessados não especialistas o que pode comprometer a segurança e ocasionar acidentes.

Com o objetivo de tornar mais fácil aos interessados o atendimento dos requisitos contidos na norma, um modelo de simulação em computador de um veículo exemplo trafegando em declive de 7% foi desenvolvido, contendo todos os seus sistemas que influem no seu desempenho. Este veículo exemplo deve atender aos requisitos da categoria M3 da ABNT NBR 10967.

Este veículo simulado atende aos requisitos da norma e isto fica evidente durante a simulação e a simulação ainda mostra que uma operação errada realizada pelo condutor leva a perda do controle a velocidade de descida pelo condutor devido ao superaquecimento do freio. Isto levaria certamente a um acidente em situação real de uso do veículo nesta situação. A simulação mostra o balanço energético nestas condições, com a potência gerada durante a descida e as dissipadas no motor (ação de retardo do motor), freios e no rolamento dos pneumáticos.

Entendido o que acontece com o veículo em um declive longo através da simulação em computador, este estudo apresenta uma relação simples entre a velocidade segura e declive percentual da rodovia para veículos das categorias M e N com qualquer peso. Esta relação é mostrada através de um gráfico de fácil entendimento e de fácil aplicação, apoiando os interessados em estabelecer condições seguras de operações em declives longos e aos projetistas das rodovias.

INTRODUÇÃO

A operação segura de veículo comerciais em declives longos e acentuados depende da perfeita especificação técnica do veículo e das corretas ações do condutor. Um trabalho extenso com veículos da frota brasileira sobre operações de veículos comerciais e declives longos foi realizado por Gutierrez [2] [3] [4] [5]. As condições seguras são indicadas na NBR 10967 [1] introduzida pelo Contran 777/93 [6] modificada pelo Contran 808/95 [7].

Para um melhor entendimento dos requisitos e as condições de simulações no declive, faz-se a seguir uma breve revisão da norma NBR 10967 para veículos da categoria N3 e M3¹.

Durante o movimento do veículo no declive, a energia gerada na descida deve ser, na sua maioria, dissipada no motor, usado como retardador. O motor transforma a energia gerada na descida, pela variação da energia de potencial, em energia térmica que será arrefecida no radiador do veículo. Em veículos pesados e superpesados, geralmente a ação de retardo do motor é insuficiente e dispositivos auxiliares, conhecidos como retardadores, são utilizados. Segue-se neste texto uma breve revisão dos principais sistemas auxiliares usados em veículos automotores rodoviários bem como o ciclo termodinâmicos que ocorre no motor durante a descida.

1- REVISÃO DAS NORMA ABNT RELATIVA A DECLIVES LONGOS

NBR 10967 – terceira edição (2012) [1].

O texto a seguir *extrai* e mostra parte do requisito de desempenho de veículos comerciais da categoria N3 ABNT NBR 10967 – Veículos Rodoviários Automotores – Sistemas de freio – Ensaio de desempenho, terceira edição 03.08.2012, válida a partir de **03.09.2012**, que substituiu a norma anterior de mesmo número.

Item 3.6.5 da ABNT NBR 10967 – terceira edição [1]: Ensaio do Tipo II (Ensaio funcional em declive). [1]

Item 3.6.5.1 da ABNT NBR 10967 – terceira edição [1] - Veículos carregados devem ser ensaiados de tal maneira que a absorção de energia seja equivalente àquela registrada no mesmo período de tempo com o veículo carregado a uma velocidade média de 30 km/h sobre uma pista em declive de 6%, para uma distância de 6 km, com a transmissão acoplada ao motor apropriadamente (se o veículo for do tipo automotor). Se o veículo estiver equipado com o retardador deve ser utilizado com a transmissão acoplada de tal modo, que a rotação do motor não exceda o valor máximo prescrito pelo fabricante. [1]

¹ N3 – caminhões – M3 ônibus.

Item 3.6.5.2 da ABNT NBR 10967 - terceira edição [1]- Para veículos nos quais a energia é absorvida pela ação da frenagem do motor isoladamente, os afastamentos de mais ou menos cinco km/h sobre a velocidade média podem ser permitidos e a transmissão pode possibilitar que a velocidade seja estabilizada a um valor próximo a 30 km/h em uma pista em declive de 6%. Se o desempenho da ação da frenagem do motor isolado for determinado pela medida da desaceleração, ele deve ser suficiente se a média medida for de no mínimo $0,5 \text{ m/s}^2$. [1]

Item 3.6.5.3 da ABNT NBR 10967 - terceira edição [1]- No fim do ensaio, o desempenho residual do freio de serviço deve ser medido nas mesmas condições que para o ensaio do Tipo 0 com o motor desacoplado da transmissão (as condições de temperatura podem ser diferentes). Para veículos acionados mecanicamente, esse desempenho residual não pode ser menor que 75% daquele prescrito para o ensaio do Tipo 0 com o motor desacoplado da transmissão. [1]

Este requisito se aplica a veículos da categoria N3. O freio de serviço pode ser usado durante a descida auxiliando no controle da velocidade no declive. Após a descida, um teste tipo 0 residual deverá ser realizado conforme indicado no parágrafo acima. A

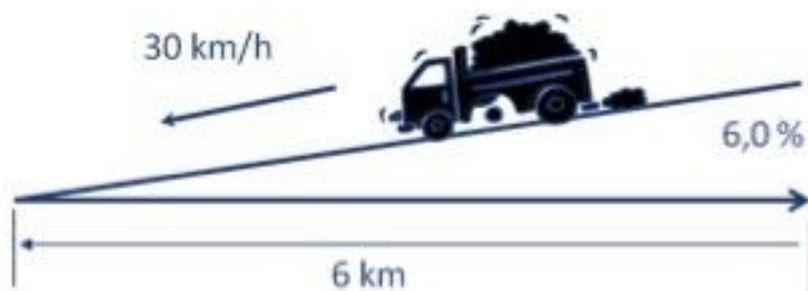


FIGURA 1 – Condições de descida para veículos da categoria N3. Na descida pode-se usar o freio de serviço para controle da velocidade. Após a descida um teste de parada total deverá ser realizado.

3.6.5.3.2 – Com exceção do ônibus urbano, os veículos de passageiro com mais de oito lugares, excluindo o lugar do condutor, e com um peso total máximo acima de 10 t, devem atender ao ensaio do Tipo III [1]

3.6.6 – Ensaio do Tipo III (prescrito no lugar do ensaio do Tipo II) para determinados veículos de categoria M3 [1]

*3.6.6.1 O veículo carregado deve ser ensaiado de tal modo que a energia absorvida seja equivalente àquela registrada, no mesmo intervalo de tempo, com o veículo carregado, transitando a uma velocidade média de 30 km/h em declive de 7% em um percurso de 6 km. Durante o ensaio, **os freios de serviço, emergência e estacionamento não podem ser acionados**. A marcha utilizada deve ser tal que a rotação do motor não exceda a máxima prescrita pelo fabricante do veículo. [1]*

3.6.6.2 – Para veículos cuja energia absorvida depende unicamente da ação do freio motor, podem-se permitir afastamentos de mais ou menos cinco km/h na velocidade média, e a marcha utilizada deve ser tal que permita a estabilização da velocidade em valor tão próximo quanto possível de 30 km/h em declive de 7% [1]

Para veículos a categoria M3, o freio de serviço não pode ser usado durante a descida. A velocidade deve ser controlada pela ação de retardo do motor e de sistemas auxiliares (retardadores), se necessário. O requisito de veículos da categoria M3 (ônibus) é diferente dos da categoria N3. O

legislador colocou um requisito mais severo para os ônibus garantindo assim uma margem de segurança maior.

2- REVISÃO SOBRE FREIO MOTOR E RETARDADORES.

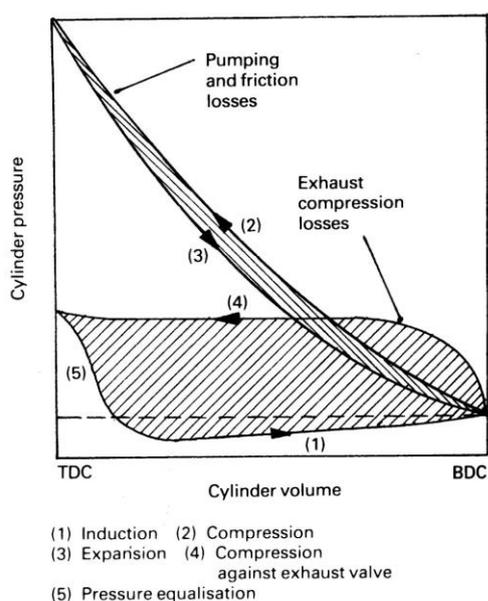
2.1-FREIO MOTOR

Durante o movimento do veículo no declive, a sua energia de potencial varia dependendo da velocidade de descida, gerando uma energia que deve ser dissipada na sua maior parte no freio motor (no radiador) e uma parcela muito menor no freio de serviço, se necessário, para não provocar o aparecimento do “fading”².

Quando o eixo de saída do motor estiver sendo girado pela transmissão (engine over-run vehicle retardation), o pedal do acelerador está não acionado e nenhum combustível é injetado na câmara de combustão. A expansão normal do ar na câmara de combustão pela queima do combustível não ocorre nesta condição e é substituída pelas fases de 1 a 5 da FIGURA 2 – Freio motor. A fase 1 corresponde a de admissão de ar com o movimento do cilindro, a 2 de compressão, a 3 de expansão e a 4 de perda de pressão e exaustão do ar para a atmosfera. A área hachurada corresponde à energia dissipada pelo motor em forma de calor. A maior parte desta energia térmica é recolhida pela água que é arrefecida posteriormente no radiador do veículo.

Esta ação de retardo do motor ou freio motor deve controlar a velocidade do veículo no declive.

Quando a ação de retardo do motor for insuficiente, sistemas auxiliares são usados, tais como: freio motor auxiliar com válvula no cano de escape de ar do motor, top brake, retardadores hidráulicos, elétricos, etc.



[8]

FIGURA 2 – Freio motor – pressão no cilindro x volume do cilindro [9].

² Fading – perda da eficiência do freio de serviço pelo aumento excessivo da temperatura.

2.2- FREIO MOTOR CONVENCIONAL TIPO BORBOLETA NA TUBULAÇÃO DE EXAUSTÃO DOS GASES DA COMBUSTÃO.

A ação de retardo do motor é aumentada com o uso de uma válvula na tubulação de escape do ar do motor alterando principalmente o ciclo de exaustão do motor. Esta contra pressão na câmara de combustão aumenta o torque de resistência no eixo de saída do motor que será utilizado no controle da velocidade no declive junto com a ação de retardo do motor.

A FIGURA 3 mostra uma foto da válvula na tubulação de escape do ar do motor.



FIGURA 3 - Freio Motor Convencional Tipo Borboleta.

2.3- TOP BRAKE

Top Brake (exhaust compression retarder) – válvulas no motor (FIGURA 4) alteram o ciclo termodinâmico nos trechos 2, 3 da FIGURA 2 aumentando significativamente a área hachurada e o efeito de retardo do motor. Pode atuar em conjunto com freio motor convencional tipo borboleta. Nota: O Top Brake é item de série nos motores eletrônicos da marca Mercedes-Benz para os modelos Axor.



FIGURA 4 – Top Brake [8]

2.4-TURBO BRAKE

Turbo Brake FIGURA 5 (engine pump retarder) – pode atuar em conjunto com o freio motor convencional e o top brake, podendo produzir um potência de retardo correspondente à potência de tração do motor (3 vezes mais potente que o freio motor convencional). É uma turbina que pressuriza o ar que entra na câmara aumentando o efeito de retardo do motor.



FIGURA 5 – Turbo Brake [8]

2.5- RETARDADOR HIDRÁULICO, ELÉTRICO e por FRICÇÃO.

Os retardadores hidráulicos são normalmente instalados entre a caixa de mudança de marchas e o diferencial.

Um movimento de rotação entre o estator (fixo) e o rotor (giratório) obriga o fluido a percorrer as câmaras formadas pelo estator e rotor gerando o torque de retardo e calor. O calor passa para o fluido de arrefecimento que é a água e é dissipado no radiador do veículo.

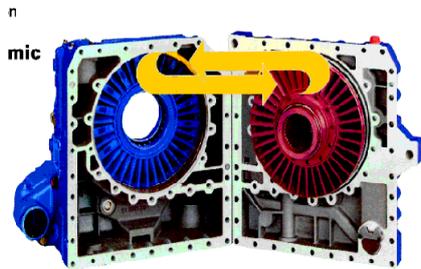


FIGURA 6 – Retardador Hidráulico [8].

Retardadores elétricos: um rotor metálico gira dentro de um campo magnético gerado por bobinas alimentadas pela energia da bateria do veículo gerando torque contra eletromotriz (torque de retardo) e calor. O calor é retirado do rotor por um fluxo de ar vindo de um ventilador.

Retardadores de fricção (friction retarder): geram torque de retardo através da fricção entre discos metálicos e lonas.

A FIGURA 7 mostra valores relativos da potência absorvida por vários tipos de retardadores como porcentagem da potência nominal do motor na tração. Os retardadores hidráulicos e elétricos, normalmente instalados entre a caixa de mudança de marchas e o diferencial, são mais adequados a veículos comerciais que operam na maior parte do tempo em rodovias, enquanto o top brake e tubo brake são mais adequados a veículos comerciais fora de estrada em operações em declives severos onde o veículo trafega em baixa velocidade.

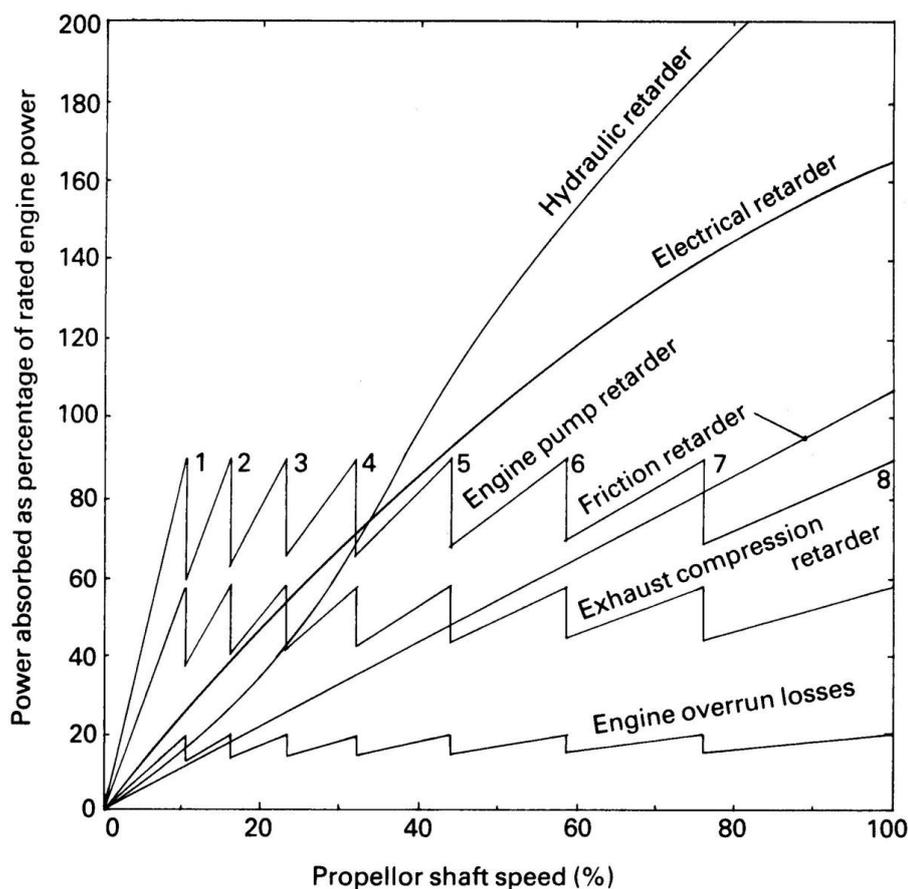


FIGURA 7 – Potência absorvida por vários tipos de retardadores [9].

3- METODOLOGIA e RESULTADOS.

Utilizando-se os requisitos indicados para os veículos comerciais para operações em declives longos, foram simuladas descidas de vários tipos de veículos comerciais da frota nacional em declives de 6%, 5% e 4%. A ação de retardo do motor e auxiliar, se necessário, foi colocada nas simulações para que os veículos atendessem aos requisitos das normas.

Para isto se desenvolveu no AutoSim® modelos de simulação em computador destes veículos. Estes modelos consideraram todos os sistemas veiculares importantes na operação de descida, tais como: suspensões, motor, caixa de mudança de marchas, diferencial, pneus, freios, etc. Através destes modelos se simulou a operação em declives com o objetivo de se fazer o balanço de energias e acelerações para obter as condições de operações seguras.

Das simulações realizadas resultou o gráfico FIGURA 8 para declives de 6%, 5% e 4%, usando ou não o freio de serviço do veículo, para caminhões (N), e ônibus (M). Sem usar os freios de serviço significa uma descida mais segura, já que os mesmos ficam frios e íntegros para serem usados em uma situação de emergência.

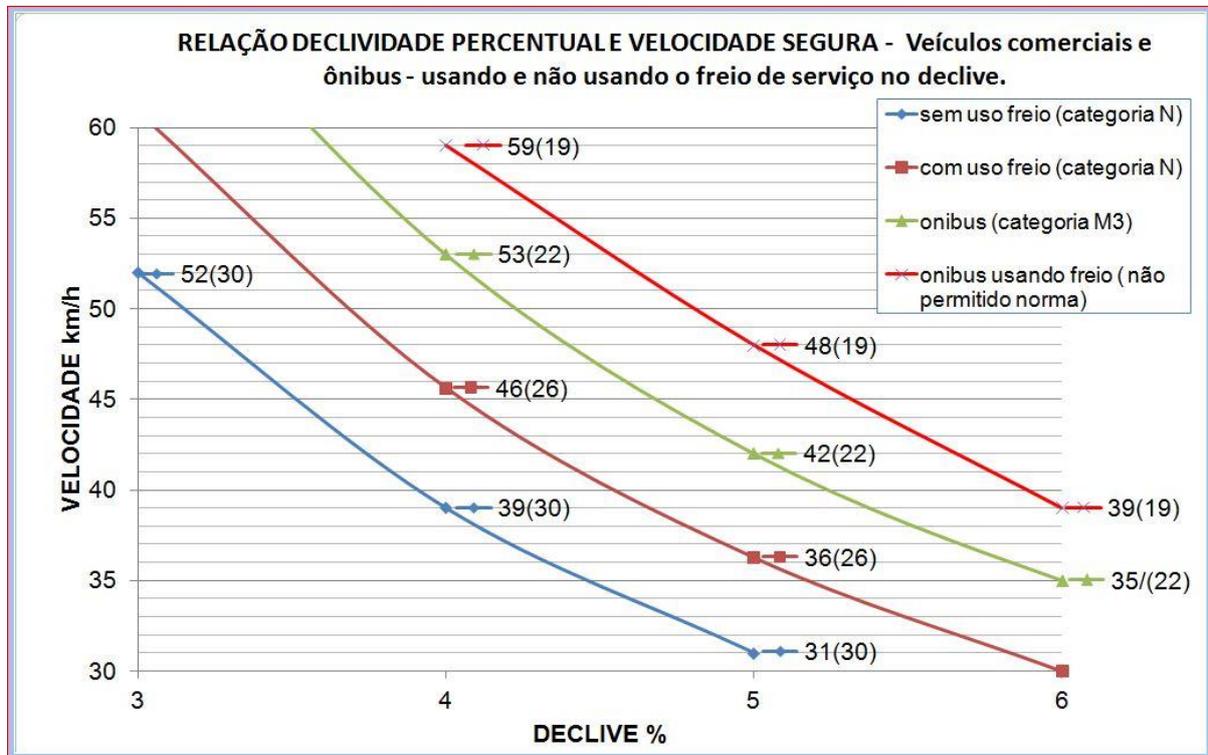


FIGURA 8 – Velocidade segura conforme NBR 10975 por declive da pista percentual para as categorias M e N.

A FIGURA 8 mostra a *velocidade máxima* no declive de veículos comerciais da categoria N, podendo-se usar o freio de serviço para a categoria N e sem usar o freio de serviço (imposição da norma) para a categoria M, conforme requisito da ABNT NBR 10967.

A FIGURA 8 mostra também a velocidade que o veículo da categoria N obterá o equilíbrio de velocidade no declive sem usar o freio de serviço no declive.

Como exemplo, pode-se citar:

- Um veículo comercial da categoria N vencerá com segurança um declive de 5% a 36 km/h \pm 5 km/h, usando o freio de serviço conforme requisito da ABNT NBR 10967. Ele poderá trafegar a 31 km/h \pm 5 km/h sem o uso do freio de serviço, usando apenas a ação de retardo do motor. Esta última condição é mais segura, pois o freio ficará frio para situações de emergência. Um veículo da categoria M3 vencerá com segurança um declive de 5% a 42 km/h \pm 5 km/h. Se ele utilizar o freio de serviço, condição não permitida na norma, a velocidade poderia ser de até 48 km/h \pm 5 km/h.

- Os números entre parênteses correspondem ao tempo em minutos para os veículos vencerem o degrau de 780 m como o da Serra do Mar em São Paulo.
- Veículos comerciais podem trafegar até a velocidade de $46 \text{ km/h} \pm 5 \text{ km/h}$ em declive de 4%. Ônibus poderão trafegar até a velocidade de $53 \text{ km/h} \pm 5 \text{ km/h}$ com segurança, não usando o freio de serviço conforme requisito da ABNT NBR 10967.

Para simular um veículo exemplo que atenda aos requisitos da categoria M3, um modelo virtual de simulação de um veículo 4x2 foi desenvolvido usando a biblioteca do AutoSim. A FIGURA 9 mostra o diagrama de blocos deste simulador.

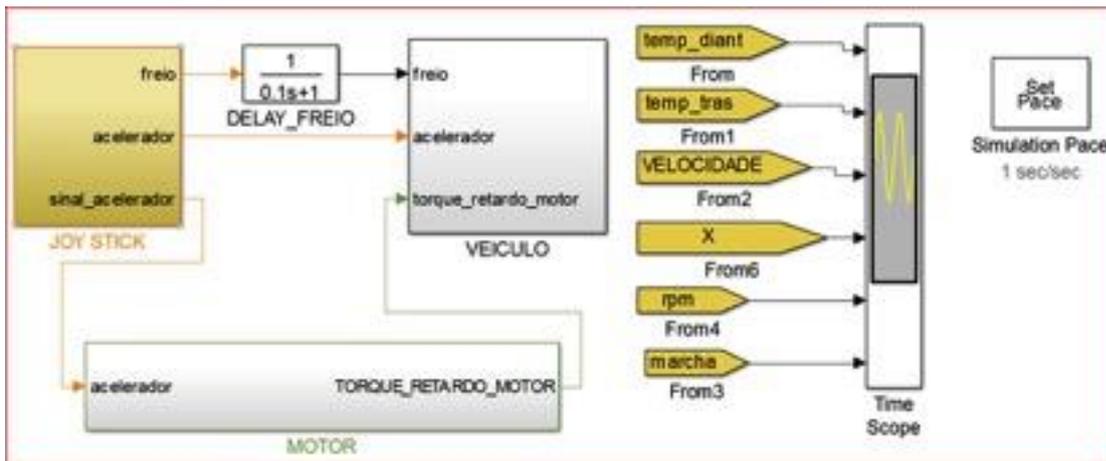


FIGURA 9 – Simulador desenvolvido com o Simulink

O bloco motor (FIGURA 9) contém as curvas de retardo do motor e o bloco veículo resolve as equações de movimento do veículo no declive. O controle da descida é realizado através do bloco JOYSTICK, que conecta o simulador a um joystick externo

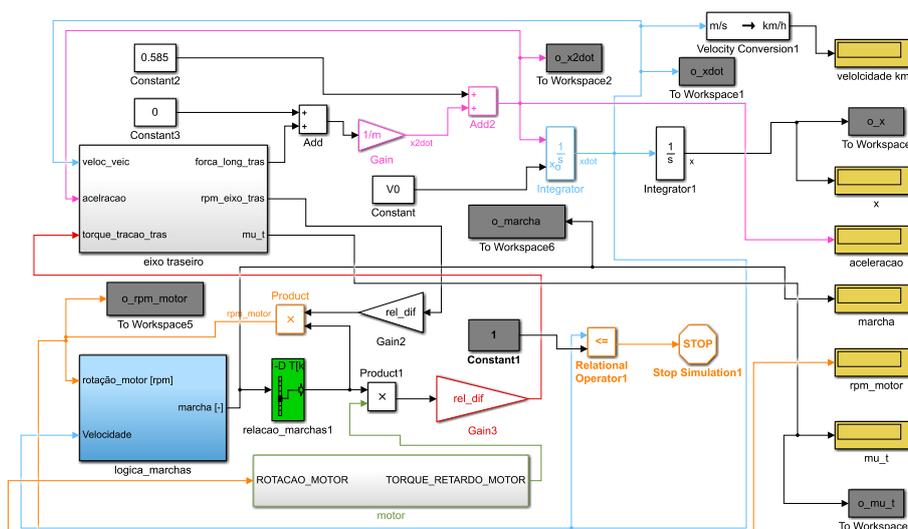


FIGURA 10 – Bloco veículo aberto.

O bloco *eixo dianteiro* contém o modelo matemático não linear dos pneus e a suspensão modelada em multicorpos. O bloco *Add2* adiciona a projeção do vetor gravidade na direção do movimento no declive. O veículo virtual tem caixa de mudança automática controlada no *bloco lógica_marchas*. A torque de retardo do motor está inserido no bloco *motor*. O intervalo de simulação é de 0,001 segundos. Obtém-se do simulador virtual, para um veículo exemplo, o gráfico da FIGURA 11.

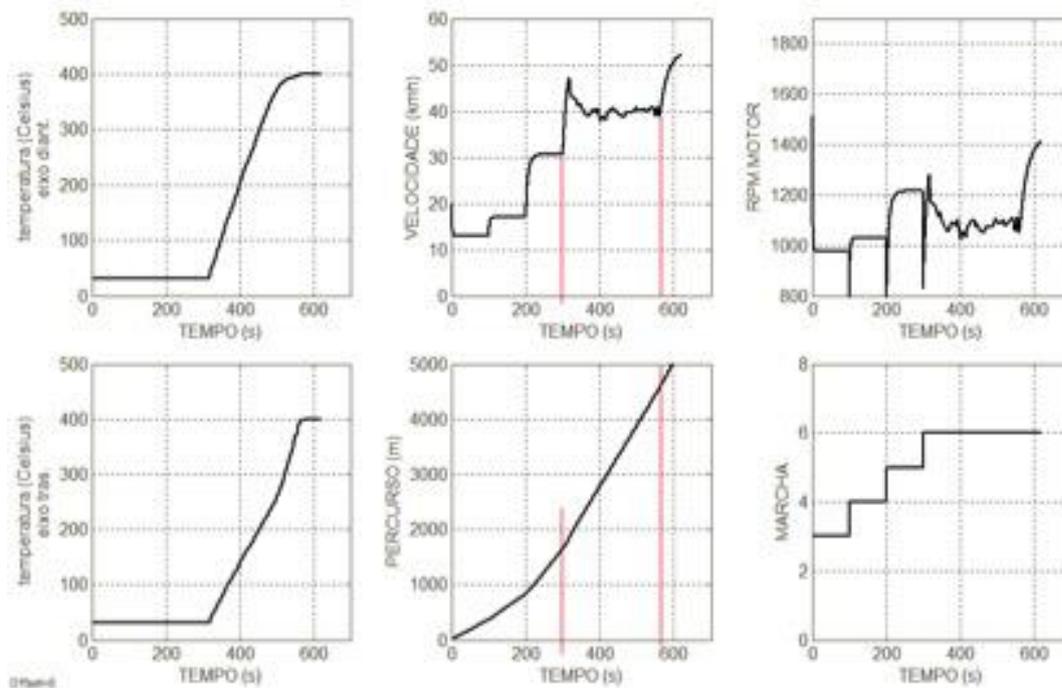


FIGURA 11 – Simulação no declive

A FIGURA 11 mostra a variação da temperatura durante a descida dos freios do eixo dianteiro e dos freios do eixo traseiro. Mostra também a velocidade em km/h, o deslocamento do veículo em metros, a marcha engrenada e a rotação do eixo do motor.

Nos 100 primeiros segundos, em terceira marcha engrenada, o veículo desce o declive de 7% em velocidade controlada pela ação de retardo do motor a 13 km/h, com o motor próximo de 1.000 rpm. Nesta velocidade e marcha engrenada, o veículo mantém sua velocidade estabilizada sem a necessidade do uso do freio de serviço.

De 100 a 200 segundos, a quarta marcha foi engrenada e o veículo, pela ação de retardo do motor, estabilizou a velocidade em 17 km/h, com o motor a 1100 rpm. Ainda nesta condição o veículo se mantém em velocidade controlada sem o uso do freio de serviço.

De 300 a 400 segundos, em quinta marcha, a velocidade de descida estabilizou-se em 30 km/h com o motor a 1200 rpm. Esta condição de operação é a exigida pela norma NBR

10967 com declive de 7%, velocidade de descida de 30 km/h controlada pelo motor sem o uso do freio de serviço.

Caso a sexta marcha seja engrenada, o veículo ganha velocidade no declive (de 300 a 570 segundos). Caso se queira descer a uma velocidade controlada de 40 km/h, o freio de serviço deverá ser acionado. Com isto, a partir de 300 segundos, a temperatura do freio dianteiro e traseiro sobe e continua subindo até a temperatura de 350 °C. Acima de 350 °C o freio perde força por um efeito chamado “fading” e o motorista perde o controle da velocidade após usar todo o curso do pedal de freio. A partir daí, o veículo se encontra em movimento instável, com velocidade crescente e sem controle do motorista. Um acidente é então iminente.

Esta simulação apresenta um exemplo em que o controle da velocidade a 40 km/h levou o condutor a acionar o freio de serviço de forma severa durante a descida, o que resultou no colapso do sistema de freios, levando-o à saturação térmica e perda total da sua eficiência.

CONCLUSÃO

O gráfico da FIGURA 8, obtido com os limites indicados na NBR 10967, pode ser usado como referência para apoiar o projeto de veículos, rodovias, a especificação de operações veiculares em declives longos por frotistas, concessionárias e outros. É de fácil entendimento como era a proposta original.

Para uma melhor visualização do que ocorre com o veículo em um declive longo, um simulador de um veículo genérico 4x2 foi desenvolvido e utilizado em um declive de 7%, mostrando as relações entre velocidade, aceleração, temperatura do freio, marcha engrenada, etc.

Este exemplo mostra que mesmo veículos certificados, seguindo normas de desempenho do freio e ação de retardo do motor, podem sofrer acidentes com a ação irresponsável do condutor ou por uma falha mecânica de componentes do freio de serviço. Falhas ocorrem nestes sistemas geralmente por uma manutenção inadequada. A inspeção veicular responsável é aqui muito importante para se garantir a segurança.

Em operações em declives longos, muitos veículos trafegam próximos aos seus limites de desempenho e com pequena margem de segurança. Erros operacionais, distração ou fadiga do condutor, falta ou inadequada manutenção veicular e outras situações podem levar a um acidente.

REFERÊNCIA E OBRAS CONSULTADAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNR NBR 10967 - Veículos Rodoviários automotores - Sistema de freio - Ensaio de desempenho - terceira edição - válida a partir de 03.09.2012.** [S.l.]: [s.n.], 2012.

2. GUTIÉRREZ, J. C. **Estudo do desempenho da frenagem e do controle da velocidade em declive longo e acentuado no trecho da Serra do Mar da Rodovia dos Imigrantes de veículos comerciais representativos da frota nacional.** São Carlos: EESC-USP: tese pós-doutorado, v. II - anexos e apêndices 1 e 2, 2005. ISBN 85-85205-61-X. orientador: Canale, A. C.
3. GUTIÉRREZ, J. C. H. **Estudo do desempenho da frenagem e do controle da velocidade em declive longo e acentuado no trecho da Serra do Mar da Rodovia dos Imigrantes de veículos comerciais representativos da frota nacional.** São Carlos: EESC-USP: tese pós-doutorado, v. I, 2005. 220 p. ISBN 85-85205-61-X. orientador: Canale, A. C.
4. GUTIÉRREZ, J. C. H. **Estudo do desempenho da frenagem e do controle da velocidade em declive longo e acentuado no trecho da Serra do Mar da Rodovia dos Imigrantes de veículos comerciais representativos da frota nacional.** São Carlos: EESC-USP: tese pós-doutorado, v. III - apêndices 3 e 4, 2005. ISBN 85-85205-61-X. orientador: Canale, A. C.
5. GUTIÉRREZ, J. C. H. **Estudo do desempenho da frenagem e do controle da velocidade em declive longo e acentuado no trecho da Serra do Mar da Rodovia dos Imigrantes de veículos comerciais representativos da frota nacional.** São Carlos: EESC-USP: tese pós-doutorado, v. IV, 2005. ISBN 85-85205-61-X. orientador: Canale, A. C.
6. CONTRAN 777/93 - CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Dispõe sobre os procedimentos para avaliação dos sistemas de freios de veículos.** [S.l.]: [s.n.], 1993.
7. CONTRAN 808/95 - CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Altera o art. segundo da Resolução Contran 777/93.** [S.l.]: [s.n.], 1995.
8. [HTTP://BLOGCAMINHAO.MERCEDES-BENZ.COM.BR/TAG/TOP-BRAKE/](http://BLOGCAMINHAO.MERCEDES-BENZ.COM.BR/TAG/TOP-BRAKE/).
9. HEISLER, H. **Advanced Vehicle Technology.** [S.l.]: Edward Arnold, 1989.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10969 - Veículos Rodoviários Automotores - Ensaios de Frenagem e Desempenho de Sistemas de Freios.** Segunda Edição - válida a partir de 01.07.2013. ed. [S.l.]: [s.n.], 2010.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10967 - Veículos Rodoviários Automotores - Ensaios de Frenagem e Desempenho de sistemas de freios.** Segunda Edição - válida a partir de 01.07.2013. ed. [S.l.]: [s.n.], 2010.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10969 - Desempenho de sistema de freio para veículos rodoviários - Prescrições relativas às fontes e aos reservatórios de energia.** [S.l.]: [s.n.], 1990.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10967 - Sistema de freio para veículos rodoviários - Ensaio de desempenho.** [S.l.]: [s.n.], 1999.