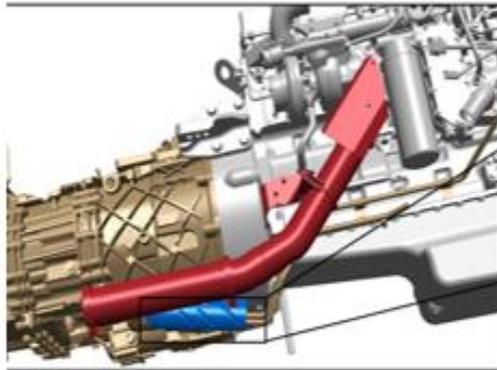


**TROCA DE MATERIAL E REDUÇÃO DA  
ESPESSURA DO DEFLETOR DE CALOR DE  
AÇO NORMALIZADO LNE 380 PARA AÇO  
QUIET STEEL®.**

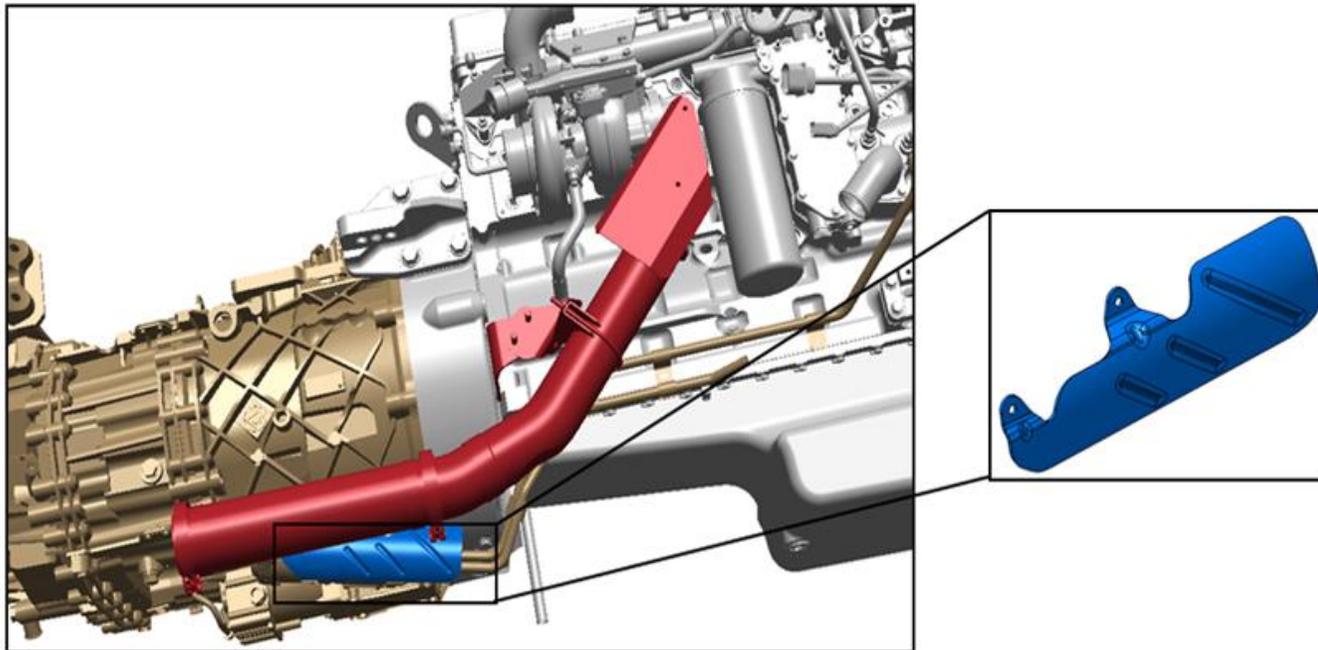
**Mestrando: Eng<sup>o</sup> Mário Victor dos Reis.**

**Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Gilberto Carvalho Coelho.**

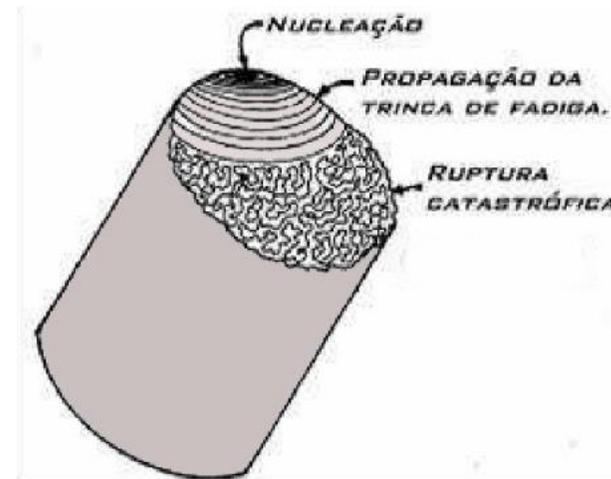
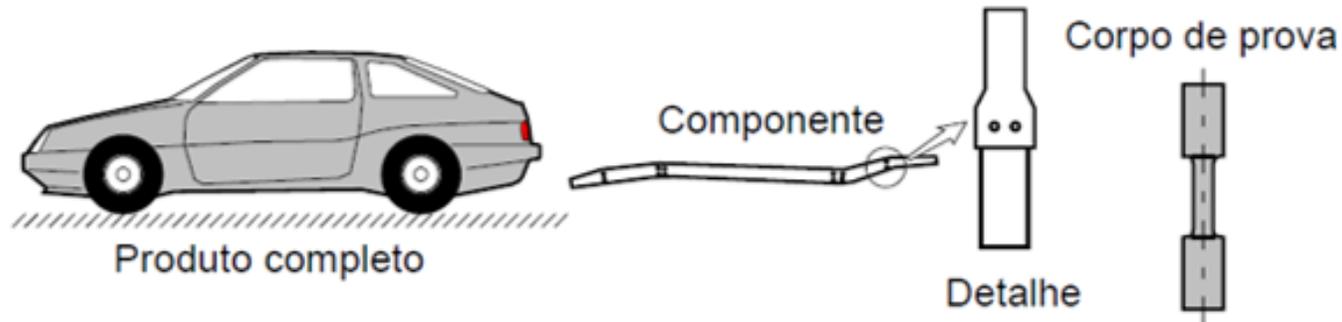
## A Tecnologia e as tendências no mercado de Caminhões e Ônibus com transmissões automatizadas...



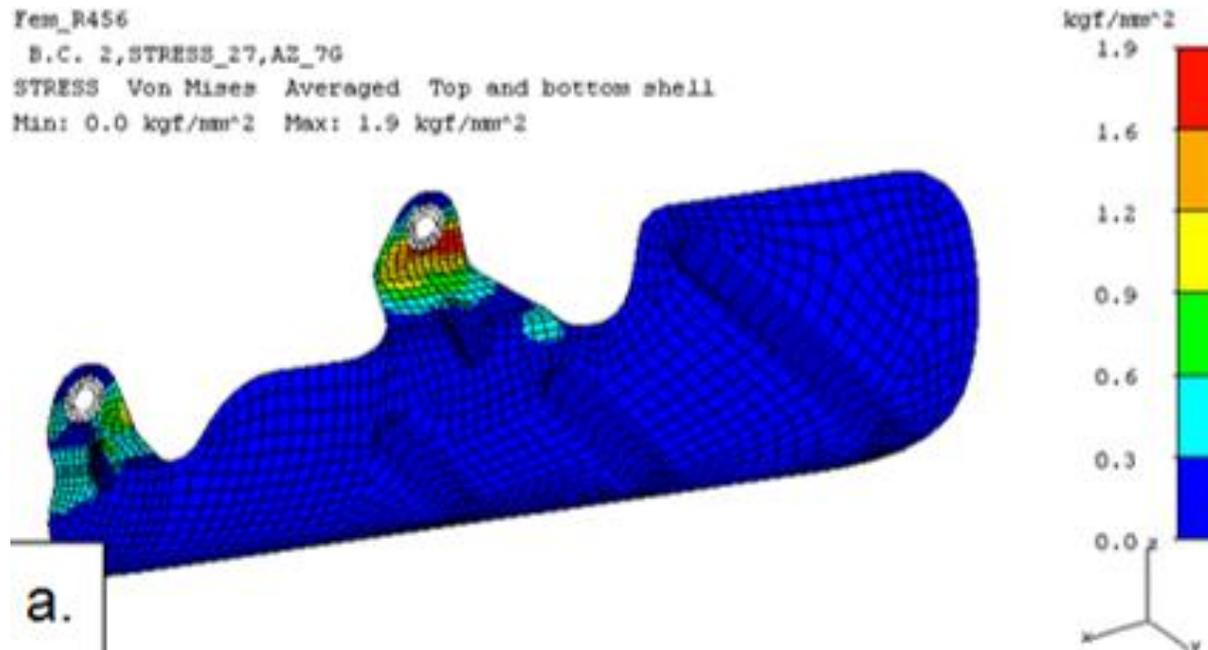
## Materiais dos defletores de calor...



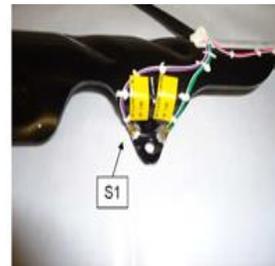
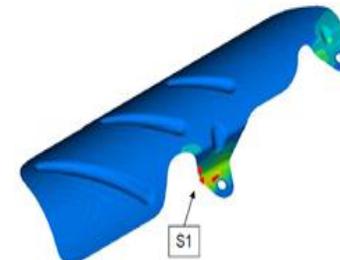
## Projeto de um novo modelo e análise de fadiga...



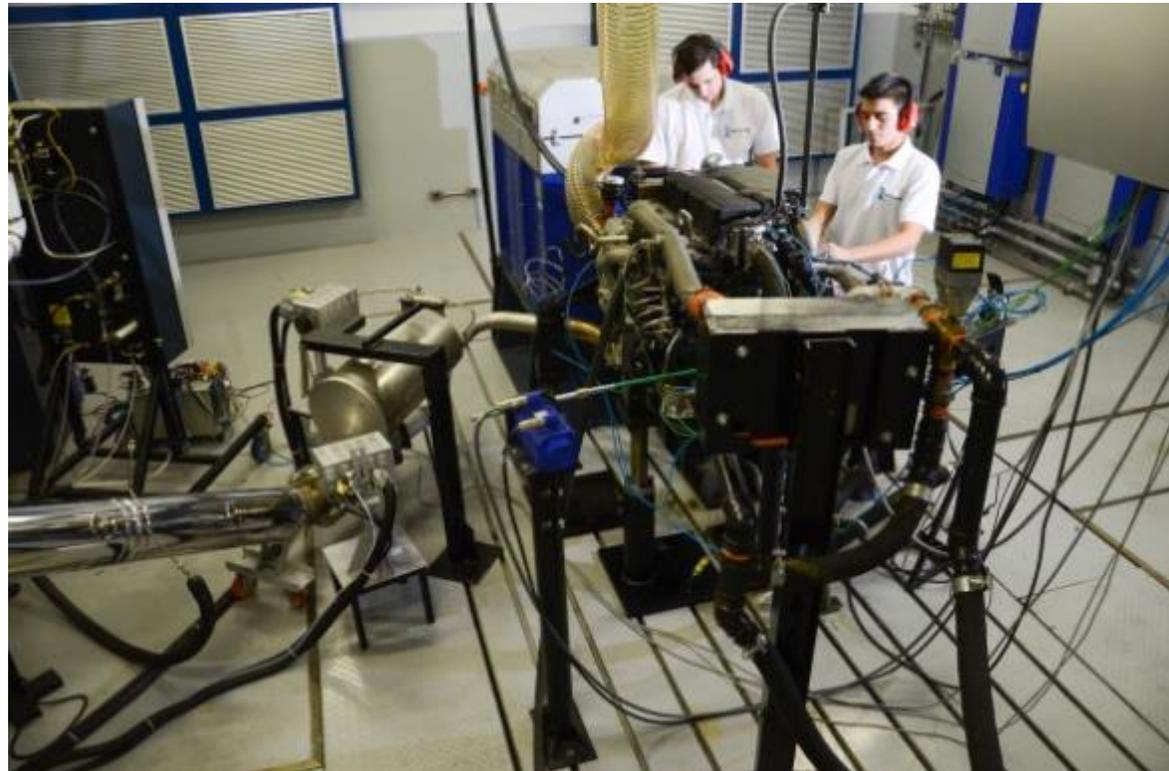
## Simulação numérica (Cálculo Estrutural - MEF)...



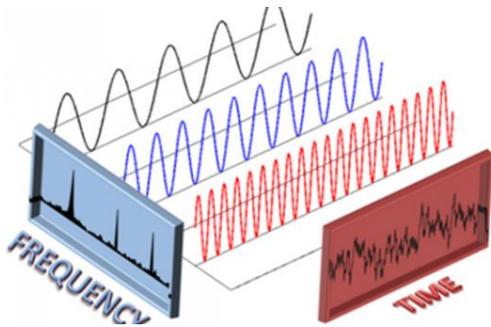
Sincronismo entre as Engenharias (Testes, Instrumentação e Cálculo Estrutural)...



## Testes de bancada...



## Testes de validação do produto...



# A tecnologia e as tendências no mercado de Caminhões e Ônibus com transmissões automatizadas.

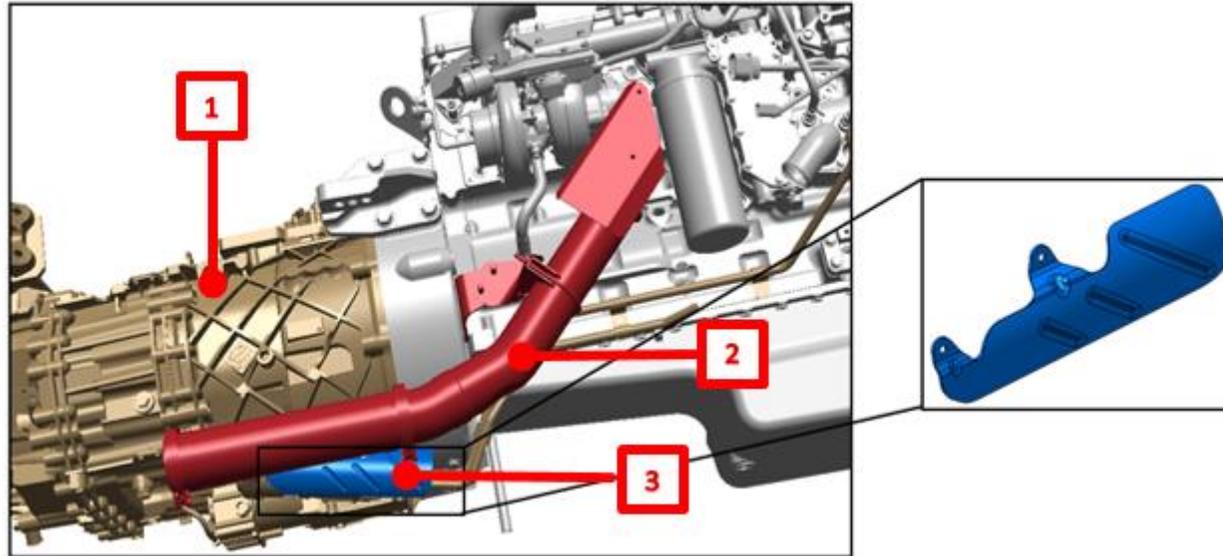


Assim como as demais tecnologias já utilizadas nos modernos caminhões que trafegam em países da Europa e nos Estados Unidos, a transmissão automatizada começa a ganhar espaço no trem de força dos caminhões pesados e extrapesados brasileiros.

O sistema controla de forma eletrônica as mudanças de marcha de acordo com a condição de peso do veículo, inclinação do piso, posição do pedal do acelerador e acionamento da embreagem.

A tendência do mercado de caminhões é que este volume estimado chegue, nos próximos 10-15 anos, a 85% dos veículos equipados com este conceito de transmissão V-Tronic de 16 velocidades.

Combinando baixo custo de manutenção com relação à caixa manual, propiciando conforto, segurança, maior produtividade ao motorista/empresa e economia na operação.



1– Caixa de transmissão automatizada; 2– Tubo de exaustão dos gases de combustão; 3– Defletor de calor.

Devido à elevada temperatura do óleo da caixa de transmissão em virtude da proximidade desta com o sistema de exaustão, ocorre redução de vida útil dos componentes internos da mesma, tais como, engrenagens, sincronizadores e rolamentos.

Desta forma, tornou-se necessário a adição de um defletor de calor, a fim de reduzir a troca térmica entre o tubo de exaustão e o trocador de calor da caixa de transmissão.

Os defletores atualmente em uso são produzidos com aços normalizados LNE 380. Entretanto, sua vida útil tem se apresentado reduzida em relação à esperada em função de falhas nas regiões de sua fixação na estrutura da caixa de transmissão.

O fornecedor da peça apresentou a sugestão de substituição do aço de grau LNE 380 pelo Quiet Steel® por este material já ser usado em outras aplicações na indústria automobilística fazendo parte de seu *know-how* de fabricação.

Neste estudo pretende-se verificar a viabilidade de substituição do LNE 380 pelo Quiet Steel ® visando garantir a vida útil do equipamento de forma a beneficiar o cliente final com um veículo de alta qualidade.

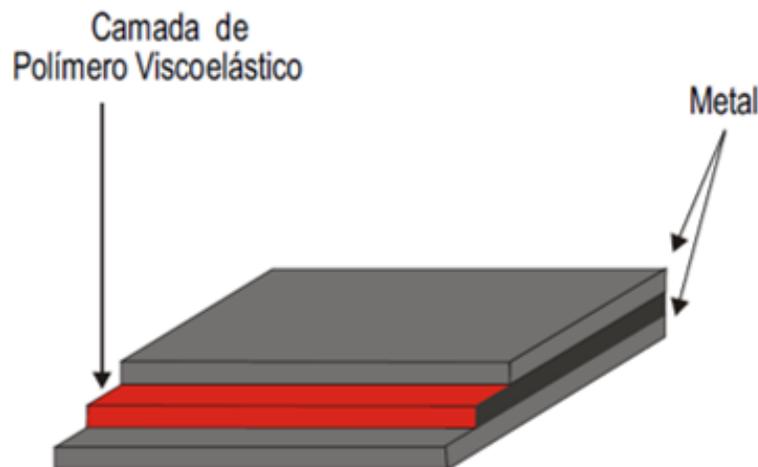
Este trabalho consiste na implementação e validação da substituição do material de defletores de calor produzidos em aço LNE 380 por aqueles produzidos em aço Quiet Steel®.

Esta substituição foi implementada com o auxílio de resultados de simulação das condições de uso dos defletores pelo método de elementos finitos assim como de resultados de testes de campo usando veículos instrumentados, testes de bancada e laboratoriais.

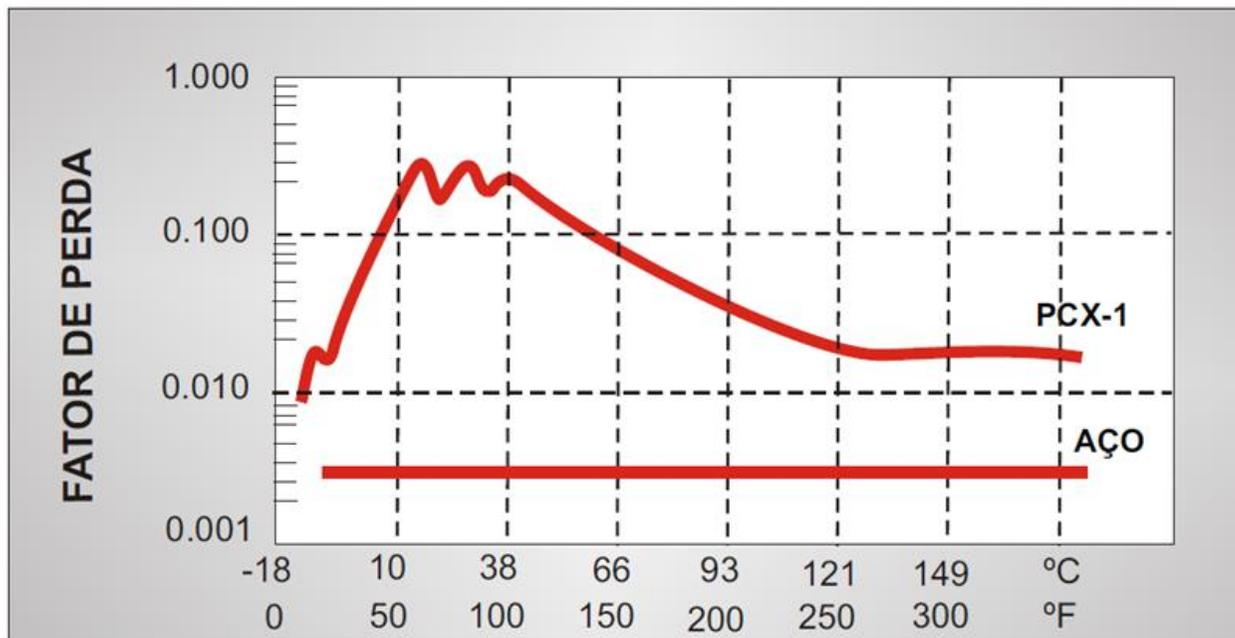
## Material do defletor:

Por se tratar de um componente automotivo e para esta aplicação em específico, o aço LNE 380 foi selecionado para defletores de calor por apresentar uma boa combinação de propriedades mecânicas.

O Quiet Steel® é uma linha de produtos metálicos de multicamadas especialmente desenvolvidos para controle de vibração e ruído. É composto por duas lâminas externas de aço LNE 380 com uma camada central de um polímero visco-elástico de 0,025mm (0,001”) de espessura



A Figura abaixo demonstra as características de redução de ruído do PCX-1 (aço Quiet Steel®). Quanto maior o valor do fator de perda, melhor será a capacidade de amortecimento de vibração e, conseqüentemente, redução de ruído do material.



A figura a seguir apresenta todos os testes de laboratório que um material deve ser submetido para que seja aplicado como defletor de calor, conforme norma ASTM - D

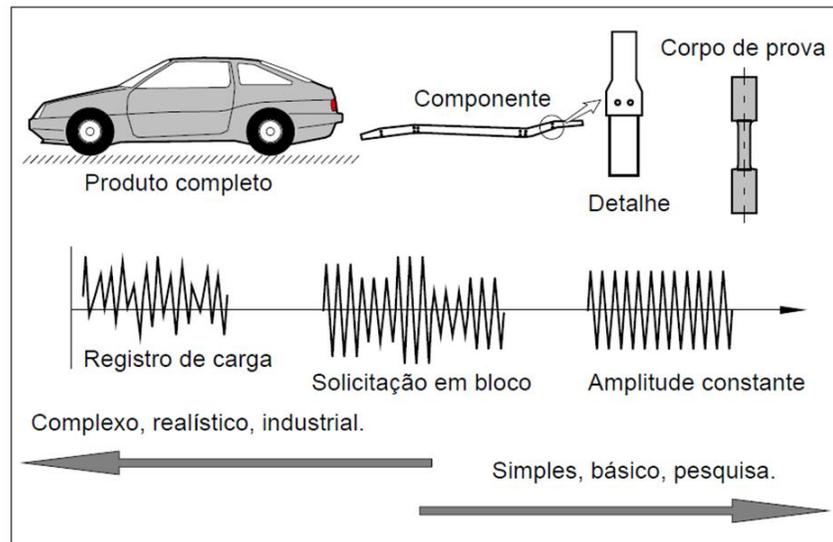
Redução de Ruído.....> 0,1 de 10 °C a 60 °C  
Resistência a descolamento conforme ASTM-D-1876 (por polegada de largura)..... 6lbs min  
Tensão de cisalhamento conforme ASTM-D-1002-72 (teste com aba de 10")..... 250psi min

Os seguintes ensaios não têm efeito sobre as propriedades físicas do PCX-1:

- Tratamento térmico a 232 °C (450 °F) durante 40 min.
- Imersão em óleo a 149 °C (300 °F) durante uma hora.
- Weather-o-meter de -32 °C a 107 °C ( 5 ciclos).
- Salt Spray ( ASTM - D-117-64) por 250 horas.
- Câmara de umidade ( ASTM-D-2247-68) por 250 horas.
- Exposição a processos químicos padrões, por exemplo anodização, metalização e eletro galvanização.
- Exposição a óleo de estampagem.
- Teste de estabilidade térmica de 38 °C a 205 °C com incremento de 14 °C.

## Projeto de um novo modelo

Quando se propõe a alteração de um componente, dados adicionais àqueles de projeto precisam ser conhecidos, a partir de históricos de teste de fábrica assim como de clientes. São necessários testes de campo e de laboratório para confirmar as hipóteses assumidas no cálculo. Peças falhadas de modelos anteriores nos fornecem dados importantes. Servem para ajustar o procedimento de testes para produzir falhas que sejam semelhantes às falhas ocorridas em campo.



Graus de sofisticação em protótipos que podem ser adotados em ensaios de fadiga.

## Exigências de uma análise de fadiga

A resistência à falha por fadiga durante a sua vida útil é uma consideração importante, pois muitas estruturas estão sujeitas a cargas cíclicas. O engenheiro de testes deve realizar os ensaios de forma que eles reflitam com exatidão a capacidade da estrutura quanto à resistência à fadiga. Ao mesmo tempo os ensaios não devem ser excessivamente longos ou onerosos.

É difícil detectar as mudanças progressivas que ocorrem nas propriedades do material durante a solicitação em fadiga, e a falha por fadiga pode ocorrer, portanto, com pouco ou nenhum aviso.

## Cargas e tensões variáveis

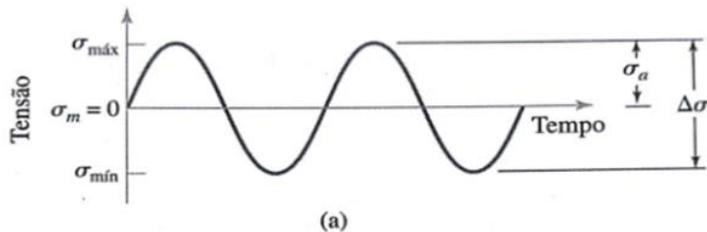
Cargas variáveis e espectros de carregamento produzindo espectro de tensões associados em uma peça de máquina refletem a configuração de projeto e o uso operacional da máquina.

Tal padrão tensão-tempo, muitas vezes referido como tensão cíclica completamente alternada ou com média nula é ilustrado na figura abaixo. Nela estão também indicados alguns dos parâmetros mais comumente usados para caracterizar o processo de fadiga (em laboratório ou em campo)

Padrões de tensão x tempo com amplitude constante.

$\sigma_{m\acute{a}x}$  = tensão máxima no ciclo

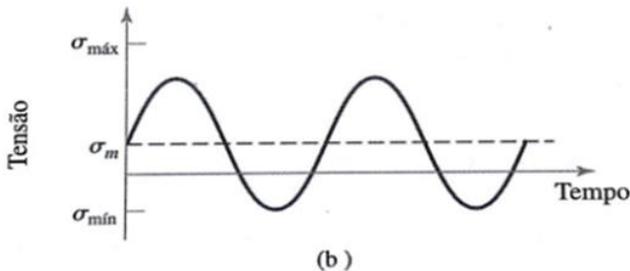
$\sigma_{m\acute{i}n}$  = tensão mínima no ciclo



**Completamente alternado;  $R=-1$ .**

$\sigma_a$  = Amplitude de tens\c{a}o;

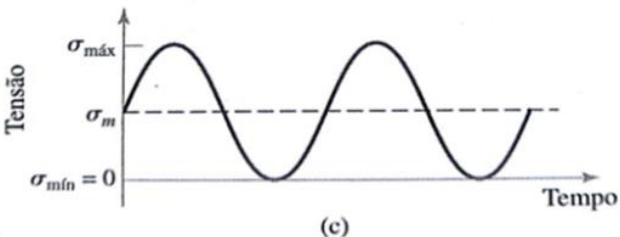
$\sigma_a = (\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n})/2$ .



**Tens\c{a}o m\acute{e}dia n\c{a}o-nula.**

$\sigma_m$  = Tens\c{a}o m\acute{e}dia;

$\sigma_m = (\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n})/2$ ;



**Tra\c{c}o pulsativa;  $R=0$ .**

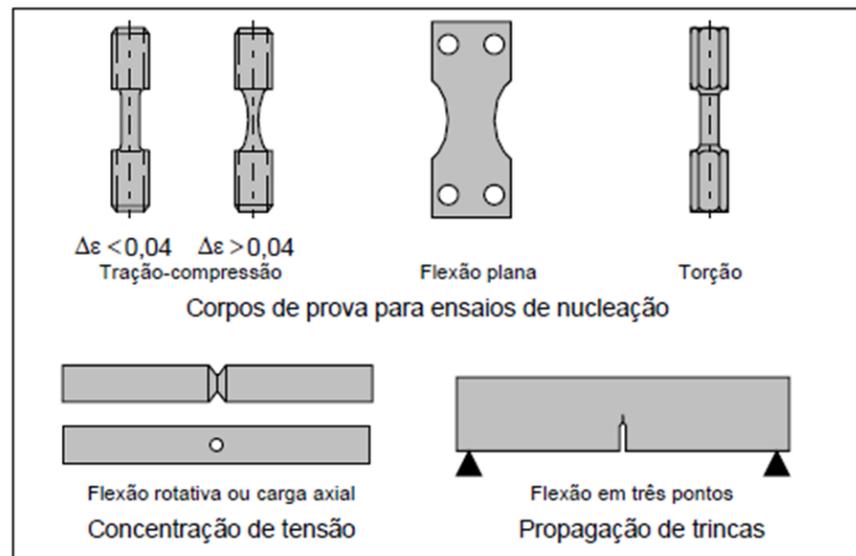
$R$  = Raz\c{a}o de tens\c{a}o;

$R = \sigma_{m\acute{i}n} / \sigma_{m\acute{a}x}$

## Ensaio de fadiga

Atualmente, o estudo da fadiga é feito tomando por base os dados obtidos com ensaios de tração-compressão, com controle de carga no regime de altos ciclos e com controle de deformação no regime de baixos ciclos.

A figura abaixo mostra os corpos de prova comumente usados nos ensaios de fadiga. Alguns ensaios são realizados com o uso de carregamentos combinados, ou seja, tração-flexão, tração-torção, flexão-torção, entre outras combinações.



## Peça x Corpos de prova

A essência do presente trabalho é investigar o comportamento mecânico de uma peça utilizada em caminhões em serviço, particularmente em condições de esforços cíclicos.

Este estudo pode ser realizado em laboratórios utilizando corpos de prova ou de ensaios utilizando diretamente a peça.

Os resultados obtidos em cada modo de estudo não são diretamente comparáveis e as principais diferenças necessitam ser levadas em conta.

## Critérios de projeto para fadiga

### Projeto para vida infinita

Esse critério exige que as tensões atuantes estejam suficientemente abaixo da tensão limite de fadiga pertinente.

Muitas peças que operam com um carregamento cíclico aproximadamente constante durante vários milhões de ciclos devem ser dimensionadas para vida infinita.

### Projeto para vida finita

A vida selecionada para o projeto deve incluir uma margem de segurança para levar em consideração a grande dispersão da vida de fadiga (relações de vida máxima, vida mínima da ordem de 10 para 1 podem ser facilmente encontradas nos ensaios de fadiga) bem como outros fatores não conhecidos ou não considerados.

## Sensores para medições de vibrações mecânicas

Para a captação de vibrações, são utilizados sensores aos quais se dá o nome de transdutores de vibração mecânica.

A análise de vibrações mecânicas é um método indispensável na detecção prematura de avarias, através da observação da evolução do nível global de vibrações e de uma análise das respectivas frequências, na análise espectral.

Eles podem ser utilizados de várias formas, através de base ponteira, base magnética, base roscada ou colada para um controle permanente.

Para a seleção dos transdutores é necessário conhecer sua gama de utilização, sensibilidade, frequência (ou tempo de resposta), compatibilidade com o meio ambiente, precisão e características elétricas.

## Funcionamento dos Acelerômetros

Um transdutor sensível à aceleração denomina-se por acelerômetro, e este é fixado em uma superfície em movimento, onde haverá um deslocamento da massa em seu interior provocado pela força motriz  $F$  que dá origem ao movimento.

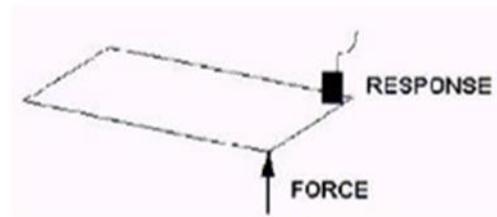
### As principais características dos acelerômetros:

- Vasta gama de frequências utilizável, de 1 a 10000 Hz. Existem modelos de acelerômetros que podem medir baixas frequências na ordem dos 0,02 Hz;
- Fáceis de instalar e no geral são menores e mais leves do que outros tipos de transdutores;
- São muito robustos e estanques, pelo que se tornam especialmente apropriados para trabalhar em locais fabris;
- Resistem ao choque, quedas, humidade, poeiras, óleo e outras agressividades ambientais e de manuseamento;
- Pouco sensíveis a vibrações laterais, transversais e a campos magnéticos. São, por isso, bons na aplicação em grandes motores elétricos.

## Medição de frequência natural

Visando melhor explicar o que estas propriedades dinâmicas significam, usaremos o exemplo da vibração de uma placa simples. Considere uma placa plana, com as bordas livres, sobre a qual foi aplicada, em um de seus cantos, uma força  $F$ .

A intensidade das respostas varia com a frequência da força aplicada, apresentando picos denominados modos de ressonância. A análise da resposta gráfica completa é chamada de análise modal. Um componente deve evitar ser usado em uma condição de carga cíclica que o faça operar em qualquer um de seus modos de frequência natural.



Placa excitada por força variável.



Resposta da placa.

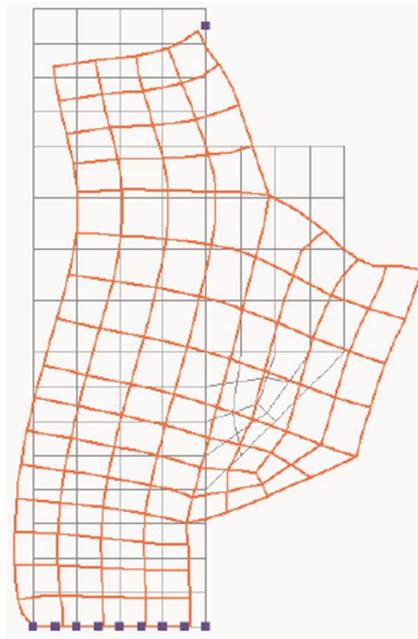
## Métodos de elementos finitos (MEF)

Quando surge a necessidade de resolver um problema de análise de uma estrutura, a primeira questão que se coloca é a sua classificação quanto à geometria, modelo do material constituinte e ações aplicadas.

O modo como o MEF é formulado e aplicado depende, em parte, das simplificações inerentes a cada tipo de problema. Referem-se, em seguida, alguns aspectos que é necessário levar em consideração na fase que antecede a análise de uma estrutura.

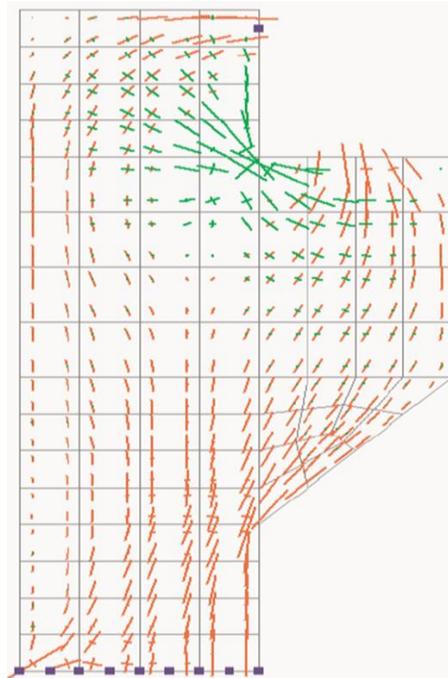
## Exemplos de aplicação do Método de Elementos Finitos

Na figura abaixo está representada a malha utilizada, que é constituída por 92 elementos finitos quadriláteros, sendo cada um destes elementos definido por 4 nós. Encontram-se também assinalados os 5 nós que estão ligados ao meio exterior. Depois de completada a análise da estrutura pelo MEF, fica-se a conhecer os valores aproximados dos deslocamentos e das tensões instaladas.



Na figura abaixo está representada a malha deformada pela ação das forças aplicadas à estrutura. Para permitir uma melhor visualização dos deslocamentos, estes são multiplicados por um fator de ampliação.

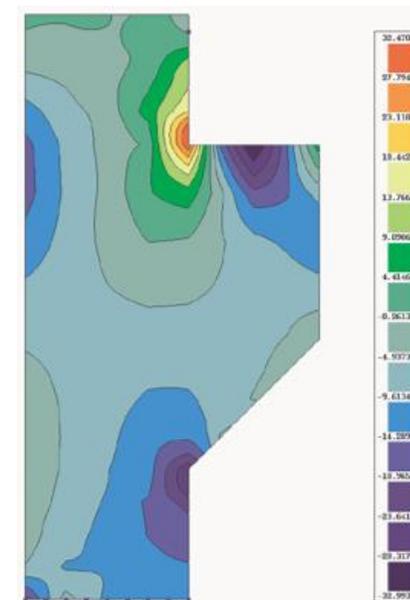
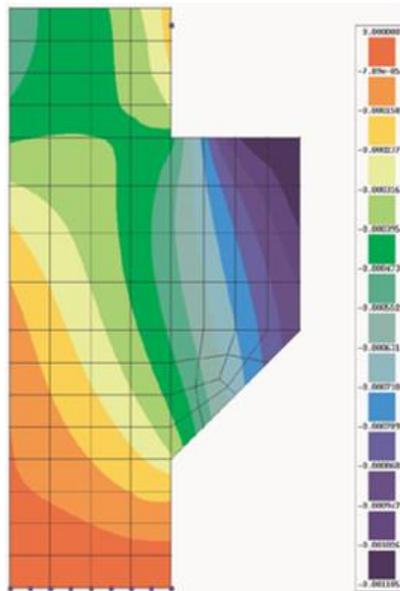
A cor verde indica que se trata de uma tração e à cor vermelha está associada uma compressão.



Na figura abaixo o valor da componente vertical do vector deslocamento é representado em cada ponto, por intermédio de uma codificação por cores.

Consultando a escala lateral, fica-se a conhecer a ordem de grandeza do deslocamento vertical em qualquer ponto da estrutura.

Nas duas figuras, o tipo de visualização gráfica são as mesmas, tratando-se também da representação de um campo escalar por intermédio de uma codificação por cores.



## Materiais dos defletores

Neste trabalho foram utilizados defletores de calor produzidos em aço LNE 380, a partir de chapas de aço de 4 mm e 3 mm de espessura, assim como em Quiet Steel®.

O Quiet Steel® consiste em um material de multicamada em aço LNE 380 com espessura menor revestida internamente por composto polimérico (viscoelástico), para redução de ruído e atenuação de vibrações.



- Espessura: 2,5 mm
- Massa: 400g



- Espessura: 4,2 mm
- Massa: 800g

Esta análise é baseada no cálculo de MEF através de análise de tensão em função da simulação da peça através de seus pontos de fixação e regiões de tensão. Devido à frequência de falhas observadas em componentes fixados ao conjunto motor-caixa de transmissão (*Powertrain*).

Utilizamos o software CATIA V5 versão 2014 () multi-plataforma CAD /*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application* CAM / CAE, atendendo de forma completa os processos de desenvolvimento de produto, desde sua especificação e concepção até a linha de produção, de forma associativa e integrada.

## Testes de campo

Estes testes são baseados nas condições mecânicas, tais como, amplitude e frequência de vibração.

Neste caso, os testes foram realizados através de um veículo de capacidade de carga de 26 toneladas com uma potência 280 CV em condições com maior criticidade e aplicações mais severas em terrenos com pisos irregulares e rodagens em rodovias com baixa frequência e alta tensão, onde o veículo foi testado com o seu peso bruto total com 26 toneladas.

Instrumentamos o veículo com *strain gage* para realização de testes na rodovia presidente Dutra e em estradas de terra, a fim de avaliar a performance do defletor em aço Quiet Steel® nas seguintes condições:

*“Rough Road” – Fazenda + Pista de Testes com irregularidades com 35.000 Km;*  
*“Pot Hole Left and Right Wheels” – Somente pista de Testes com irregularidades com 500 ciclos.*

## Testes de bancada

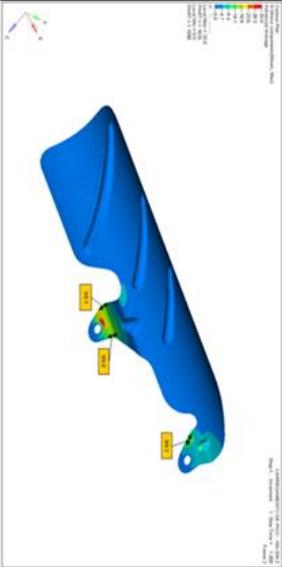
Este teste tem por objetivo realizar ensaio experimental simulando as condições de uso dos componentes controlados em bancada com temperatura de controlada entre 250 à 300°C, simulando as condições reais de trabalho da caixa e do sistema de escapamento.

Foi usado um vibróforo de marca Amsler e modelo Wolpert na extremidade do qual foi fixado o defletor a ser ensaiado. Os ensaios foram realizados variando a frequência até que o primeiro modo de frequência natural fosse atingido e deixado nessa condição até a falha da peça ou até atingir o número de ciclos equivalentes a 107 de quilômetros rodados com o veículo.

Foi realizado ensaio de líquido penetrante após realização de testes de bancada para verificação de trincas e porosidades na região de fixação nas duas peças em LNE 380 e aço Quiet Steel®.

Detalhamento do ensaio de líquido penetrante e teste de bancada.

**Espeçura: 4 mm**  
LNE 380 – Fraturou na região indicada para instrumentação, conforme indicado no relatório abaixo.

Certification run time [hours]	Equivalent Mileage [km]
294	1,000,000

Sample	Bench test failure run time [hours]	Equivalent Mileage [km]
#1	6.9	23,328
#2	4.6	15,751

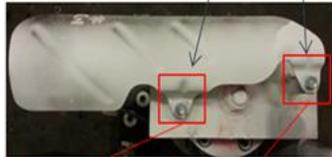
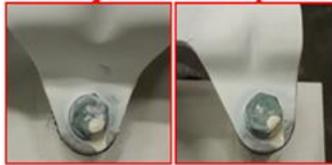



**Espeçura: 2 mm**  
Quiet Steel foi aprovada, conforme instrumentação indicada por cálculo estrutural



Certification run time [hours]	Certification Mileage [km]
46.0	1,000,000

Sample	Failure run time [hours]	Equivalent Mileage [km]
#1	46.0 hours without failures	1,000,000
#2	46.0 hours without failures	1,000,000
#3	46.0 hours without failures	1,000,000

## Validação do Produto

### Medida de frequência natural

Medimos a resposta da placa utilizando acelerômetros modelo Omega KFH-6-350-C1 nos principais pontos de fixação dos defletores em aço Quiet Steel®.

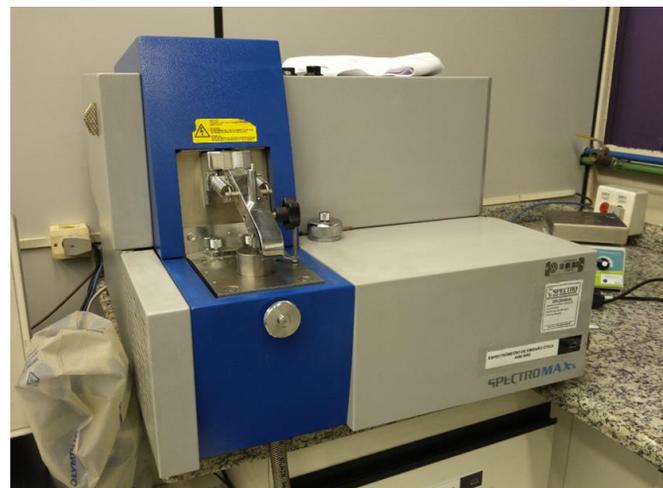
Para coleta das informações de frequência natural e amplitude para avaliação da ruptura do mesmo, notamos que a amplitude de vibração muda quando modificamos a frequência de oscilação da força  $F$  aplicada. Assim, variando a frequência de oscilação da força, haverá aumentos, como também diminuições, na amplitude de vibração em pontos diferentes da escala de tempo.

Apesar de estarmos aplicando o mesmo pico de força a sua frequência de oscilação varia e, assim, a resposta amplia quando aplicamos a força com uma frequência de oscilação o mais próximo da frequência natural da placa (frequência de ressonância) e alcança um máximo quando a frequência de oscilação for igual à frequência natural da placa.

## Análise Química

A composição química de um aço pode ser determinada por diversas técnicas de análise química, respeitando suas particularidades, mas este trabalho abordará apenas a técnica de espectrometria de emissão óptica.

Para a determinação da composição química encontrada nos corpos de prova foi utilizado espectrômetro de emissão óptica modelo spectro maxx 118628/05, onde as amostras foram lixadas em lixadeira de fita de modo a garantir uma superfície isenta de impurezas e suficientemente plana de modo a posicionar corretamente dentro da câmara de queima do aparelho.



## Ensaio mecânico de tração

O corpo de prova (sempre padronizado por normas técnicas) é fixado pelas suas extremidades nas garras de fixação da máquina de tração. O corpo de prova é então submetido a um esforço, aplicando uma carga gradativa e registrando cada valor de força correspondente a um diferente tipo de alongamento do material, alongamento este medido por um extensômetro. O ensaio termina quando o material se rompe.

Para os ensaios de tração foram usinados 5 corpos-de-prova, a fim de garantirmos a repetibilidade e a precisão do ensaio. Os CP's foram usinados em torno CNC Romi Discovery 1200, utilizando as dimensões recomendadas conforme norma ASTM A 536. Os ensaios de tração foram realizados à temperatura ambiente em Máquina Universal de Ensaio da marca Kratos com capacidade 35T.

## Teste de proteção superficial

Este teste possui por objetivo principal submeter o material a ser analisado em atmosferas com alta umidade em atmosfera condensada, a fim de verificar a resistência do mesmo à corrosão no metal base.

Neste ensaio utilizamos uma câmara de alternância climática modelo Thermotron 5M 32 com temperatura controlada durante 264 horas, conforme norma DIN EN ISO 9227 – Testes de Corrosão em atmosferas artificiais através de pulverização.

## Teste de cisalhamento

O objetivo deste procedimento é definir os requisitos do método de teste de cisalhamento de sobreposição para determinar a resistência de um laminado de metal-metal com o polímero visco elástico intermediário.

## Teste de estabilidade térmica

Avaliar a desempenho do material quanto à resistência térmica.

Teste de estabilidade térmica do laminado usando câmara climática Thermoclimatic modelo CCT GS 0405, conforme NBR 7977 (Determinação da estabilidade térmica por desprendimento) usando 5 corpos de prova de cada com dimensões de 25,4 x 150 mm e espessura de 2mm.

## Teste de névoa salina

Este é um método de "teste acelerado" para avaliar a resistência à Névoa Salina de chapas metálicas pintadas ou não, materiais destinados a fixação e outros.

Câmara Salina modelo 411-1C da Industrial Filter ou similar.

Solução aquosa (5 +/- 1) % em peso de NaCl, livre de níquel e cobre contendo não mais que 0,1 % de Iodeto de Sódio e não mais que 0,3 % de impurezas totais.

O veículo antes de ser colocado em mercado é submetido a uma série de testes de campo que nos permitem obter resultados exigidos por norma, assim como avaliar o desempenho de todos os seus componentes quando são montados em conjunto.

Nesta etapa são identificados problemas não previstos em projeto, como o observado nos defletores de calor, objeto deste estudo. Foram observadas falhas nas regiões de fixação do defletor fabricado em aço LNE 380 com 4 mm de espessura.

Como esta peça não atua como um componente estrutural do conjunto *powertrain*, a falha foi presumida ter ocorrido por fadiga.

A análise deste problema foi iniciada com a simulação numérica das respostas da peça a esforços mecânicos aplicados nas 3 direções ortogonais entre si.

Como produto desta etapa, foram identificados os pontos críticos que serviram de base para o posicionamento dos transdutores, isto é, os strain gages e acelerômetros para os testes de campo e de bancada.

Foram então instrumentados defletores em aço LNE 380 / 4 mm e colocado em campo para avaliação de rodagem com pisos de diferentes características.

Nestes testes de rodagem são coletadas informações tais como frequência e amplitude dos esforços aos quais o componente foi submetido.

Uma primeira tentativa de solução do problema foi diminuir a espessura do defletor de 4 para 3 mm mantendo o mesmo material, isto é, em aço LNE 380. Não foi obtido êxito, indicando que seria necessário substituir o material.

Foi, então, proposta a alteração do material do defletor de LNE 380 / 3 mm para aço Quiet Steel®. Além da substituição do material, foi também reduzida a espessura do defletor, trazendo-a para 2mm.

Outra avaliação de desempenho das 3 soluções propostas foi feita através de ensaios de bancada, que têm como objetivo simular, em condições aceleradas, o comportamento dos defletores quando em uso.

Nestes ensaios, as peças são colocadas a vibrar, sendo que o equipamento aplica a vibração variando sua frequência até que atinja o primeiro modo de frequência natural da peça fixada a ele. O conjunto permanece nesta situação até que a peça falhe ou atinja um número de ciclos que corresponda à vida infinita (vida útil prevista para o veículo).

## Simulação numérica

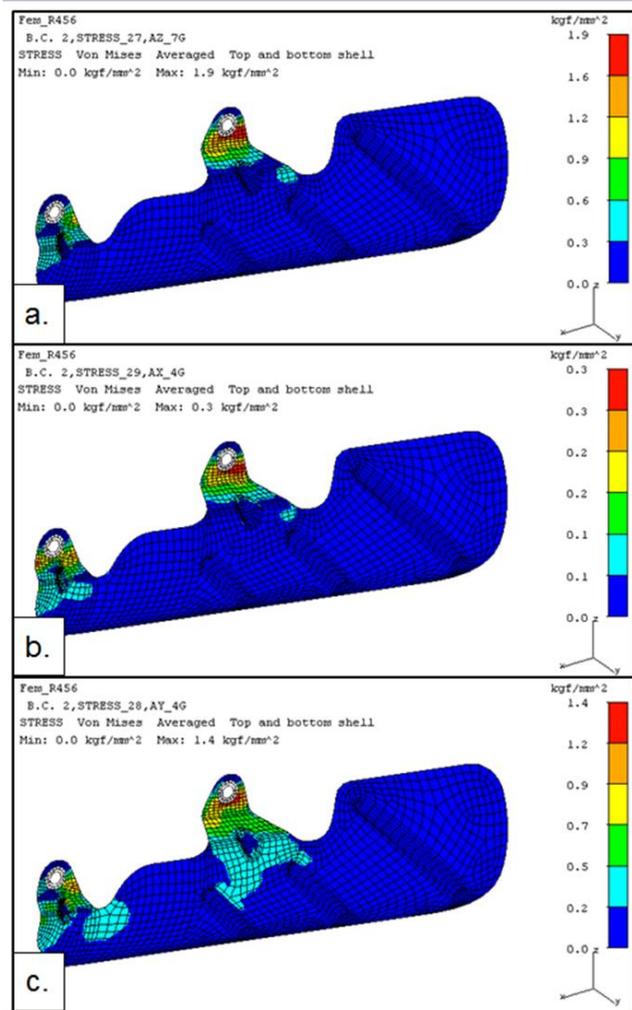
O critério de falha de Von Mises, utilizado neste trabalho, indica que o escoamento de um material sólido inicia quando o segundo invariante de tensão atinge um valor crítico. O critério é, por esta razão, algumas vezes denominado plasticidade ou teoria do escoamento.

As Figuras apresentam os resultados de simulação de esforços aplicados sobre os defletores com 4, 3 e 2 mm de espessura, respectivamente. Nestas simulações, as propriedades informadas no software foram aquelas do aço LNE 380 para todos os casos.

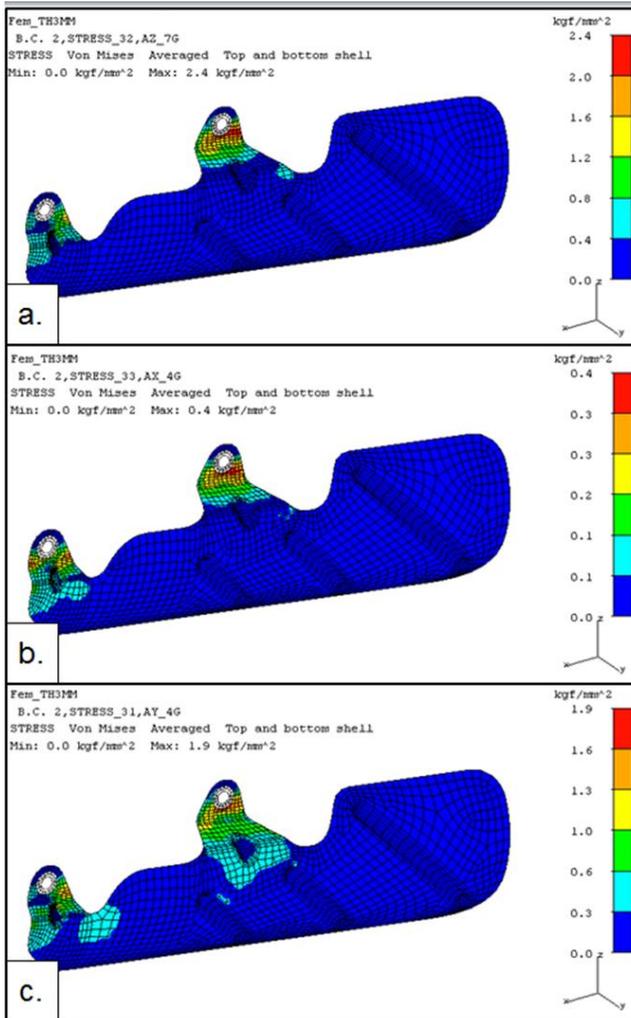
Em cada uma das figuras, pode ser observada a distribuição de tensões resultante da aplicação dos esforços nas direções Z (a), X (b) e Y (c). Esses esforços são aplicados em magnitude crescente até que a resposta da distribuição de tensões apresente valores superiores ao crítico (von Mises).

Os valores de tensão de von Mises são crescentes respectivamente, nas simulações das peças em LNE 380 4 e 3 mm, e em Quiet Steel®. Pode-se observar que o defletor fabricado em Quiet Steel® suporta tensões até duas vezes maiores em relação àquele fabricado em LNE 380 / 4mm, nas 3 direções.

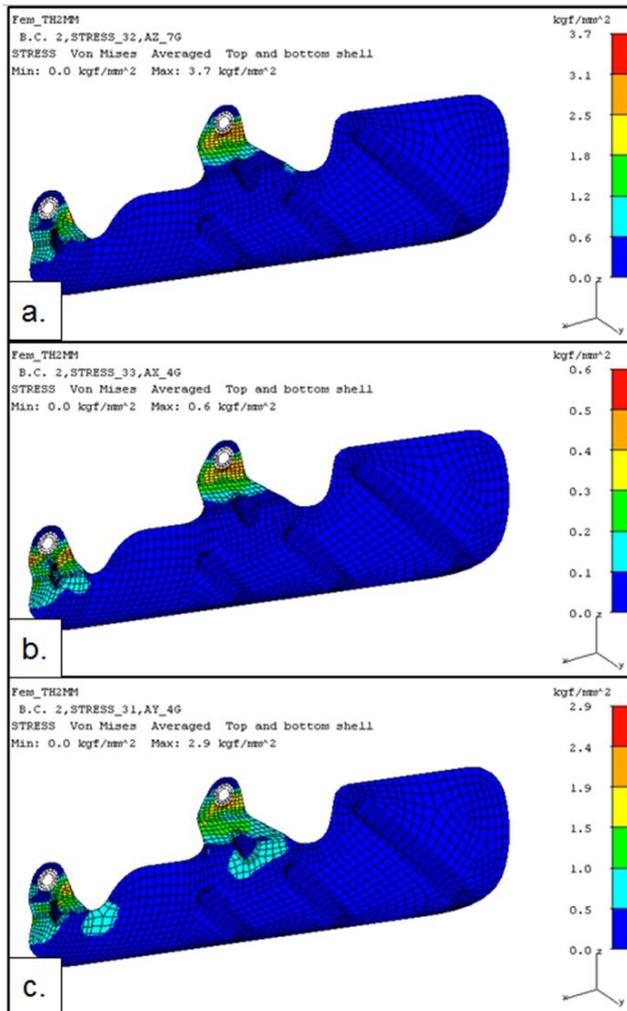
Isso sugere que o Quiet Steel® tem um grande potencial de substituição do LNE na aplicação sob condições de fadiga. Este critério é válido sob o ponto de vista de aplicação de cargas estáticas e, portanto, ainda não pode ser afirmado que o Quiet Steel® vá atender as condições de carregamento dinâmico.



Panorama de tensão de von Mises para carregamento nas direções Z (a), X (b) e Y (c). LNE 380 / 4mm.



Panorama de tensão de von Mises para carregamento nas direções Z (a), X (b) e Y (c).  
LNE 380 / 3 mm



Panorama de tensão de von Mises para carregamento nas direções Z (a), X (b) e Y (c). LNE 380 / 2 mm (considerando o resultado como representativo para o Quiet Steel®).

## Testes de campo

Com base nos resultados de simulação numérica, foram inseridos *strain gages* nas regiões críticas dos defletores (próximas aos pontos de fixação) para coleta das informações de vibração (frequência e amplitude de tensão).

Os valores máximos e mínimos de tensão medidos através de rodagem em diferentes pistas são comparados com requisitos normativos para avaliação de desempenho veicular.

As condições de pista de rodagem e suas denominações utilizadas neste trabalho são as seguintes:

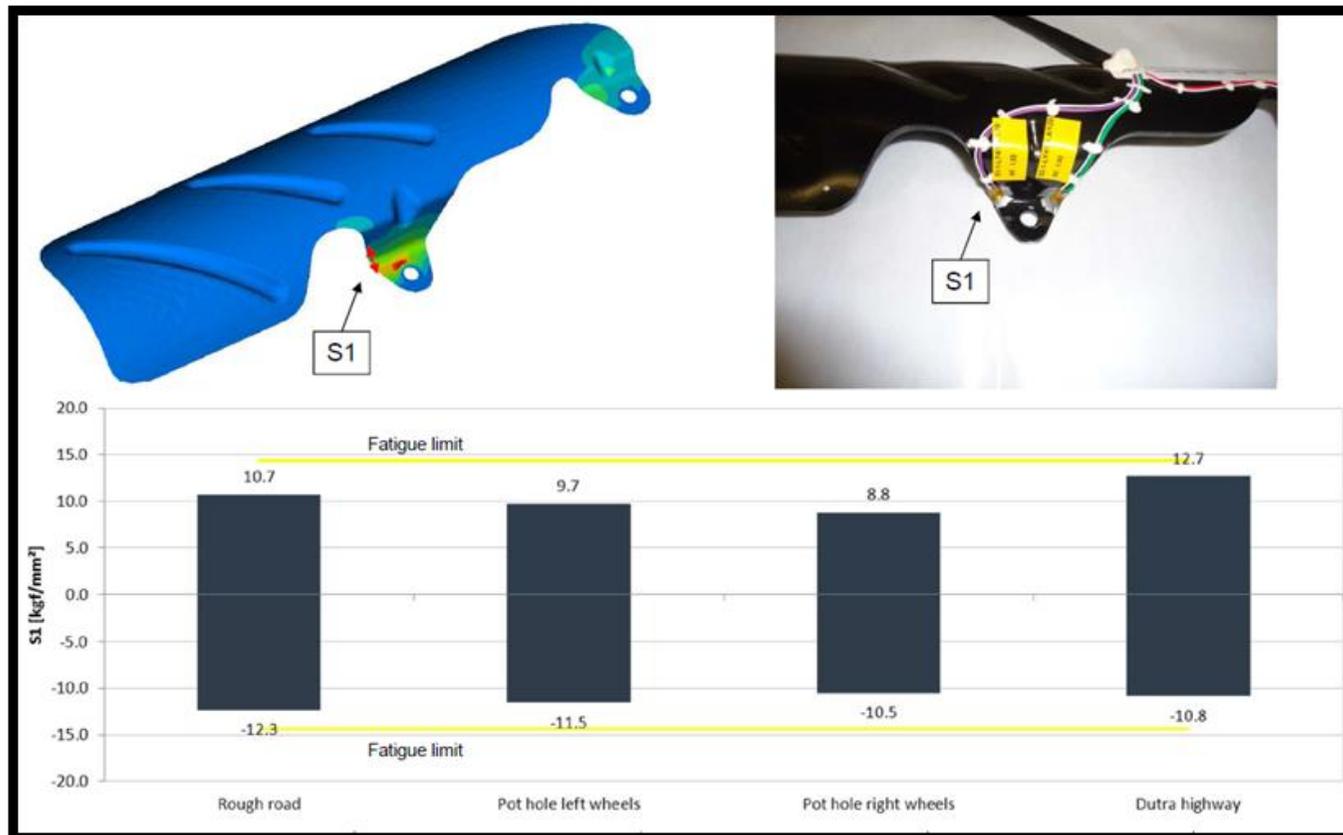
- 1- Rough Road: estradas de campo (fazenda) e pista de testes com irregularidades equivalentes às observadas nas fazendas;
- 2- Pot Hole Left Wheel e Pot Hole Right Wheel: pista de teste com irregularidades nas linhas de rodagem sob as rodas esquerda e direita, respectivamente;
- 3- Dutra Highway: pista da BR116 (rodovia Presidente Dutra).

As Figuras apresentam, na forma de barras, os valores máximos e mínimos de tensão medidos nos pontos de fixação dos *strain gages* (S1, S2 e S3) em defletores fabricados em Quiet Steel®. As linhas identificadas por *fatigue limit* representam os valores adotados como limites de fadiga para o LNE 380.

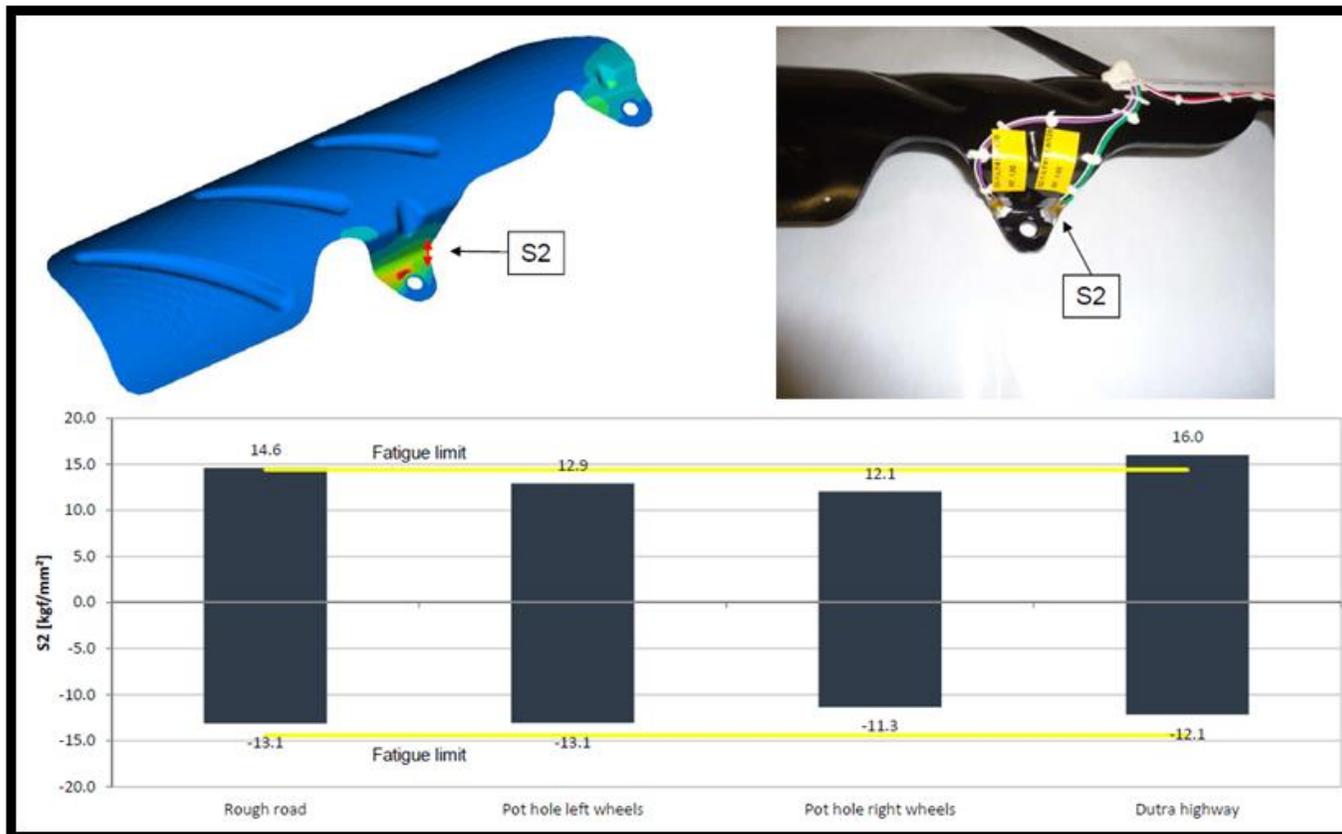
Em quase todas as condições de avaliação, os picos de medição não ultrapassaram o limite de fadiga do material, exceto nos testes realizados em Dutra *Highway*, onde as condições de tensão máxima de carregamento no ponto S2 ficaram um pouco acima do limite de fadiga.

Porém, este valor foi ultrapassado somente 3% de todo o tempo do teste nesta condição de rodagem sugerindo que a substituição do material de LNE 380 para Quiet Steel® concomitantemente com a diminuição da espessura do defletor deverá atender satisfatoriamente as condições de uso desta peça em serviço.

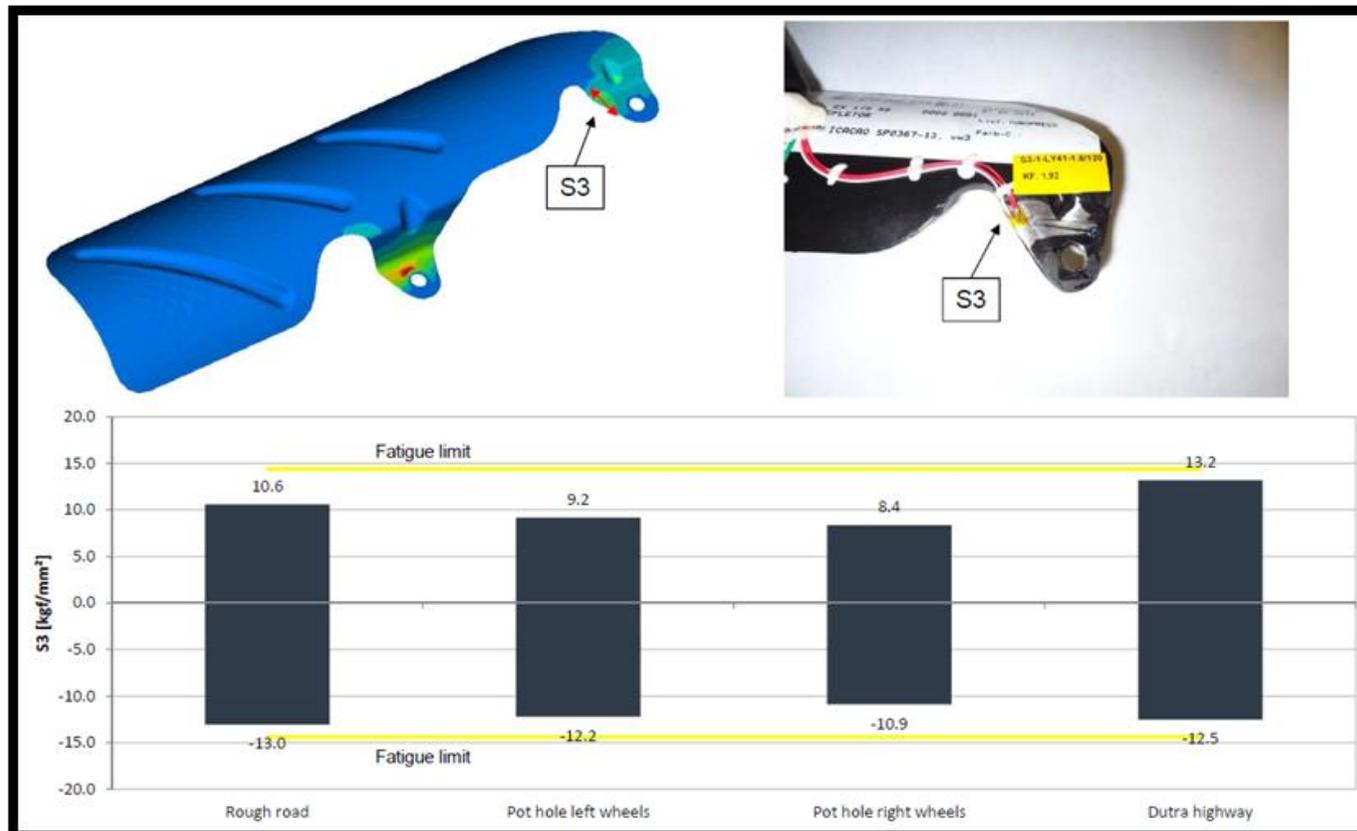
Ponto de fixação S1 para instrumentação veicular.



Ponto de fixação S2 para instrumentação veicular.



Ponto de fixação S3 para instrumentação veicular.



## Teste de bancada

As figuras, em suas partes superiores, ilustram o equipamento vibratório com os defletores produzidos em LNE380 4 mm e em Quiet Steel® durante o ensaio de bancada.

Nestes ensaios, as peças foram submetidas à vibração induzida pelo vibratório, sendo que o equipamento varia a frequência até atingir a frequência natural do defletor em ensaio. O conjunto permanece nesta situação até que defletor falhe ou atinja um número de ciclos que corresponda à vida infinita (vida útil prevista para o veículo).

Através dos resultados de ensaios de líquido penetrante, foi possível identificar as peças em que ocorreram falhas.

Estas figuras também apresentam, de forma consolidada em tabela, os resultados dos ensaios realizados em diferentes amostras do mesmo material.

Na parte superior das tabelas são apresentadas as condições de ensaio para cada material que equivalem à rodagem de 1.000.000 km do componente montado no veículo. Esta é, neste trabalho, a condição considerada de vida infinita.

Para o defletor em LNE380 4 mm, 1.000.000 km rodados em montagem no veículo correspondem a 294 h de ensaio. Para as duas amostras ensaiadas nesta condição, as falhas ocorreram com 6,9 h e 4,6 h de ensaios, equivalentes a 23.328 km e 15.751 km, respectivamente.

Para o defletor em Quiet Steel® 2 mm, 1.000.000 km rodados correspondem a 46 h de ensaio. As três amostras ensaiadas nesta condição apresentaram vida infinita, ou seja, não apresentaram falhas durante as 46 h de ensaio.

Os resultados deste ensaio levam a concluir, assim como nos itens anteriores, que a substituição dos defletores de calor produzidos em aço LNE380 / 4 mm por aqueles produzidos em Quiet Steel® / 2 mm pode ser adotada com segurança para essa aplicação veicular.

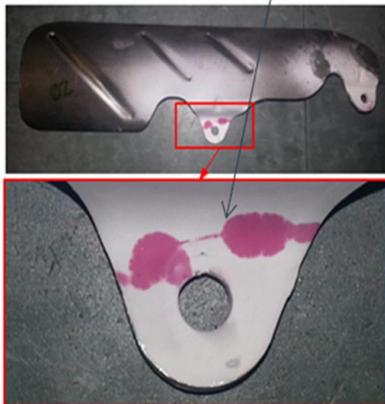


Espessura: 4 mm  
LNE 380 – Fraturou na região indicada para instrumentação, conforme indicado no relatório abaixo.

Certification run time [ hours ]	Equivalent Mileage [ km ]
294	1,000,000

Sample	Bench test failure run time [ hours ]	Equivalent Mileage [ km ]
#1	6.9	23,328
#2	4.6	15,751



Detalhamento da existência de trincas nas posições S1 e S2 da região de fixação.

Espessura: 2 mm

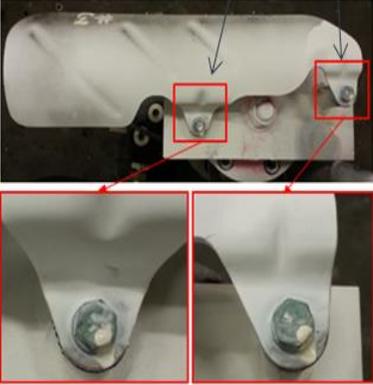
Quiet Steel foi aprovada, conforme instrumentação indicada por calculo estrutural



	Certification run time [ hours ]	Certification Mileage [ km ]
	46.0	1,000,000

Sample	Failure run time [ hours ]	Equivalent Mileage [ km ]
#1	46.0 hours without failures	1,000,000
#2	46.0 hours without failures	1,000,000
#3	46.0 hours without failures	1,000,000



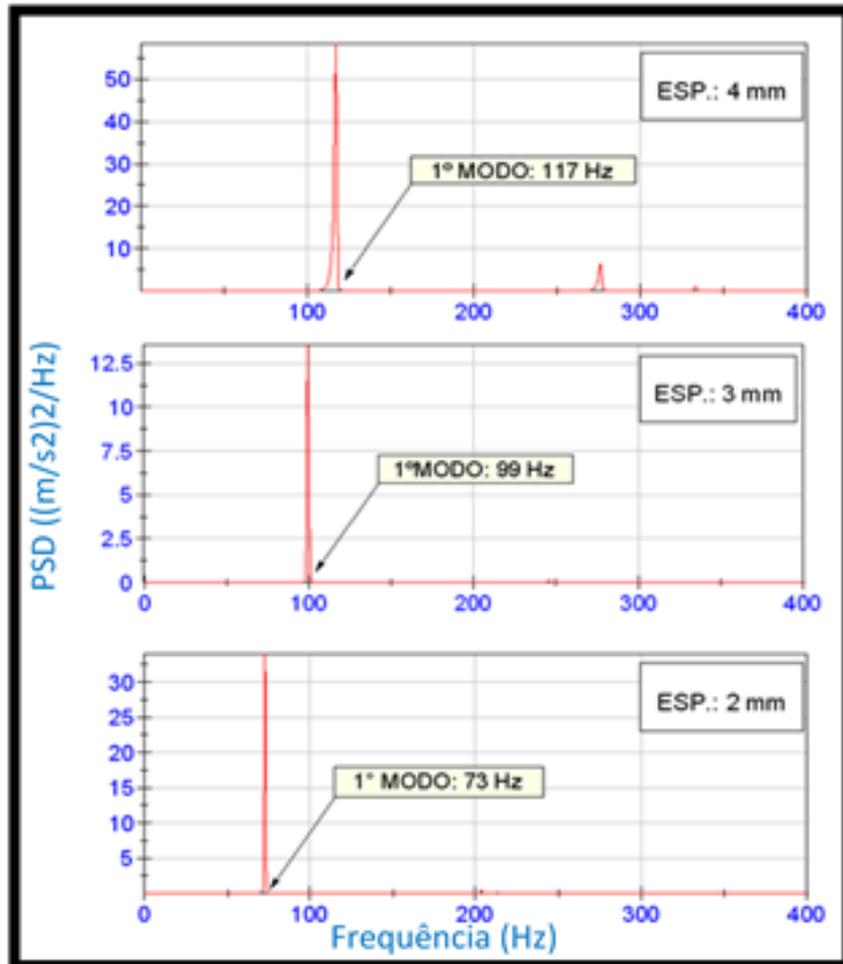
Defletor fabricado em Quiet Steel® não apresentando falhas após ensaio no vibróforo e aplicação do líquido penetrante.

## Testes de Validação do Produto

### Medição de frequência natural

No presente trabalho foram realizadas análises modais nos defletores fabricados nos três tipos de material, que consistem no estudo das propriedades dinâmicas dos defletores de calor sob excitação por vibrações.

As vibrações aleatórias geradas, por exemplo, pela rugosidade da pista ao longo da trilha das rodas sobre as quais passa o veículo são, em geral, representadas pela densidade espectral de potência (*Power Spectral Density*, PSD - aceleração ao quadrado em função da frequência).



A tabela apresenta essas mesmas informações, porém com os valores nominais além daqueles de início (mínimo) e fim (máximo) do pico obtido nos ensaios com análise de sensibilidade de frequência natural em função da espessura, nos mostra que a espessura (e portanto também a massa) do defletor influencia diretamente na frequência natural da peça. O pico do primeiro modo obtido no defletor com espessura de 2mm, em aço Quiet Steel®, chega a ser 35% e 60% menor em relação àqueles dos defletores com 3 e 4mm, respectivamente, ambos fabricados em aço LNE 380.

## Análise modal de sensibilidade de frequência natural.

Componente	Modo	Espessura (mm)	Frequência Natural (Hz)		
			Nominal	Mínimo	Máximo
Defletor	1º	2	73	70,7	80,2
		3	99	97,9	108,1
		4	117	112,4	131,3

## Análise Química

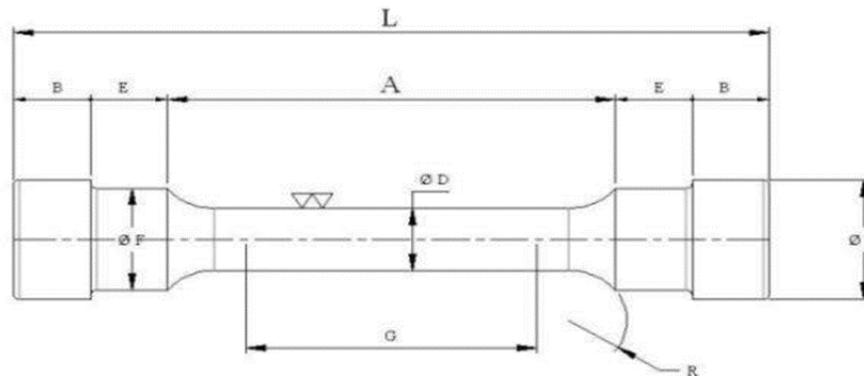
Conforme tabela, os resultados encontrados estão em conformidade de acordo com a norma NBR 6656 (Bobinas de aço laminados à quente).

Composição química (%)		
Especificado EDDS	Encontrado	Equipamento utilizado
C 0.02 máx	0.016	Espectrômetro de Emissão óptica 4480 0062
Mn 0.40 máx	0.16	
Cu 0.10 máx	0.002	
P 0.020 máx	0.016	
S 0.020 máx	0.0080	

Análise de espectrometria de emissão óptica.

## Ensaio mecânico de tração

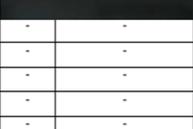
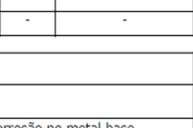
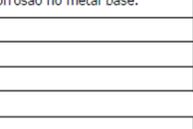
Diante do ensaio realizado foi encontrado um valor médio dos 5 corpos-de-prova com tensão de 165 MPa com especificado de 105 à 170 MPa, conforme norma NBR 6656.



DIMENSÕES	DESCRIÇÃO	PADRÃO
A	COMPRIMENTO MÍNIMO DA SEÇÃO REDUZIDA	77
B	COMPRIMENTO MÍNIMO DA CABEÇA	13,25
C	DIÂMETRO DA CABEÇA	24±0,6
D	DIÂMETRO	12,5±0,3
E	COMPRIMENTO MÍNIMO DO RESSALTO	13,25
F	DIÂMETRO DO RESSALTO	16,5±0,2
G	MEDIDA DO COMPRIMENTO A SOFRER ALONGAMENTO	50±0,3
L	COMPRIMENTO MÍNIMO TOTAL	130
R	RAIO MÍNIMO	10

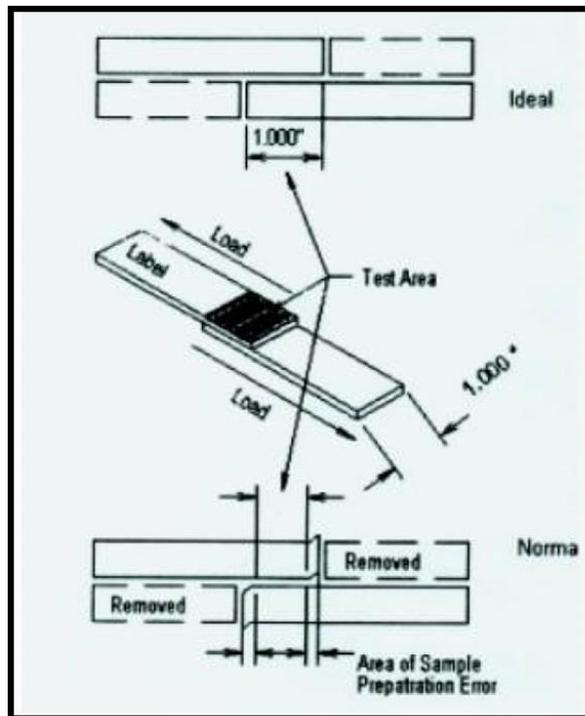
## Teste de proteção superficial

Através da submissão do material em atmosfera com alta umidade e condensada, a fim de verificar a resistência do mesmo à corrosão, o mesmo resistiu a 264h sem apresentar corrosão no metal base, onde o especificado é de 240h, conforme DIN EN ISSO 2808, ilustrado na tabela.

Data	Tempo		Corrosão		Temperatura		Solução			Interrupções	
	Hora	Soma	Branca	Vermelha	Cam °C	Sol °C	pH	Conc NaCl g/l	Vol Col ml	Tempo	Causa
12/09/2013	8:30	-	-	-	40°	-	7	-	-	-	-
13/09/2013	8:30	24:00	-	N	40°	-	7	-	-		
14/09/2013	8:30	48:00	-	N	40°	-	7	-	-		
15/09/2013	8:30	72:00	-	N	39,9°	-	7	-	-		
16/09/2013	8:30	96:00	-	N	40°	-	7	-	-		
17/09/2013	8:30	120:00	-	N	40°	-	7	-	-		
18/09/2013	8:30	144:00	-	N	39,9°	-	7	-	-		
19/09/2013	8:30	168:00	-	N	40°	-	7	-	-		
20/09/2013	8:30	192:00	-	N	39,9°	-	7	-	-		
21/09/2013	8:30	216:00	-	N	40,1°	-	7	-	-		
22/09/2013	8:30	240:00	-	N	40°	-	7	-	-		
23/09/2013	8:30	264:00	-	N	40°	-	7	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Resultado do Ensaio</b>											
Especificado:						Encontrado:					
Resistir 240hs sem apresentar corrosão no metal base.						Peça resistiu 264hs sem apresentar corrosão no metal base.					
<b>Espessura da camada</b>											
Especificado:						Encontrado:					
Mínimo 75um – Conf. ISO 2808.						111um à 153um.					

## Teste de Cisalhamento

O filme plástico não apresentou mais que uma moderada perda do "Embossado" (Relevo Gravado) e/ou mudança do brilho, conforme mostrado na figura. Considera-se moderada uma alteração facilmente perceptível sem necessidade de um exame profundo, mas insuficiente para alterar de maneira marcante o aspecto original.



Descrição da amostra de cisalhamento de sobreposição.

## Teste de estabilidade térmica

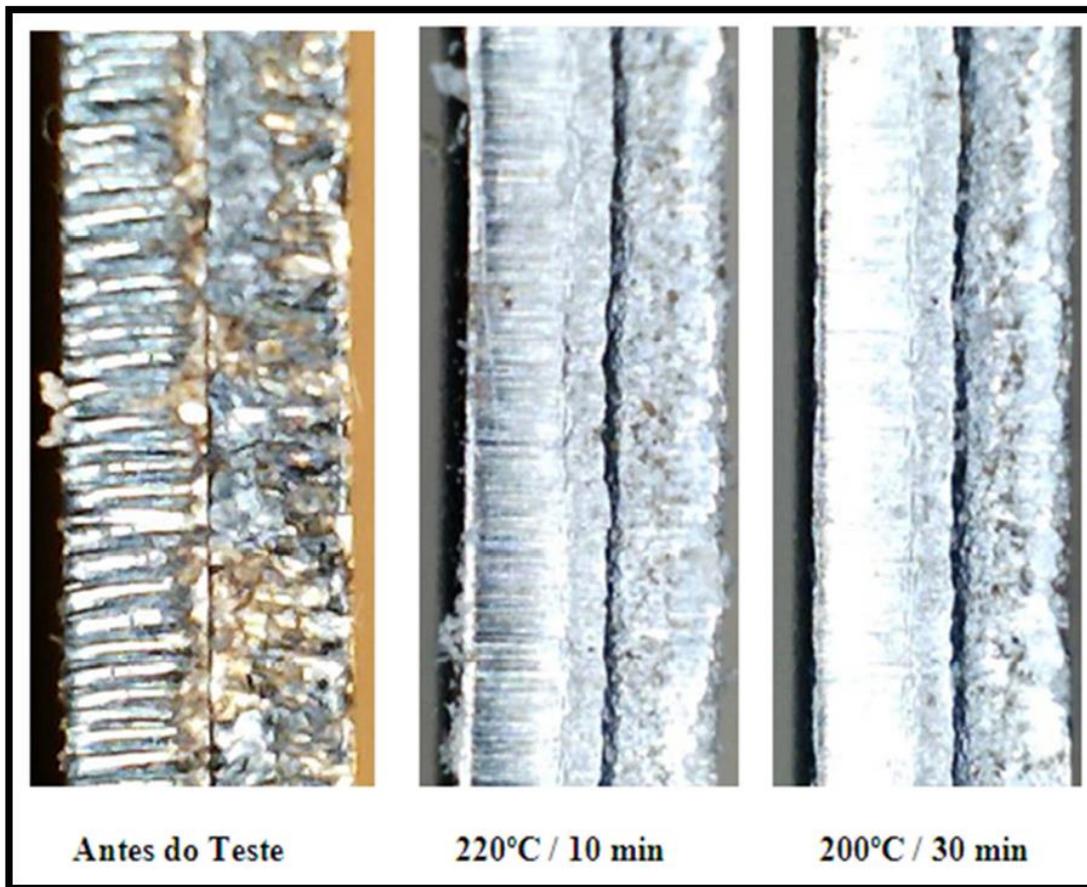
### Teste de estabilidade térmica do laminado

Temperatura / período		T-Peel		Shear Test		Visual
		Inicial	Após teste	Inicial	Após teste	
1	200°C / 40 min.	22 lbf/in	20	470 lbf/in <sup>2</sup>	390	Ap.
2	220°C / 10 min.		19		350	Ap.

O material quando submetido aos testes de estabilidade térmica, apresentou resultados satisfatórios, com perda leve de aderência em relação aos valores iniciais e na avaliação visual sem evidência de descolamento a partir das bordas, conforme figura.

# Resultados e discussão

Amostras do teste de estabilidade térmica - Ampliação do aparelho microscópio (vista perfil da peça) - Zoom de 5X.



Na análise visual consideramos resultado aprovado quando não há evidência de descolamento a partir das bordas.

O material quando submetido ao teste de estabilidade térmica nas condições 1 e 2 apresentou resultado satisfatório, com perda leve de aderência em relação aos valores iniciais.

## Teste de névoa salina

Conforme norma VW13750 o material resistiu a 240h sem apresentar corrosão no metal base, conforme tabela.

Peça/ Material Nº : X3751		Ordem de Produção: -		Data Receb.: 05/09/13					
Descrição Peça/ Material: Defletor									
Cliente: MAN		Nº Desenho: 2T2301327		Data: 07/03/13					
				Nº da Peça Cliente: 2T2301327					
Fornecedor (Pintura/Zincagem): Croma									
Especificação/Norma de Referência: VW13750-(x630) conf. TL260 / (x650) conf.TL256									
Descrição do Corpo de Prova: -									
Obs.:									
Data	Tempo		Corrosão		Temperatura		Solução		
	Hora	Soma	Branca	Vermelha	Cam °C	Sol °C	pH	Conc NaCl g/l	Vol Col ml
10/09/2013	8:30	-	-	-	35°	46°	7	50g/l	1,6ml
11/09/2013	8:30	24:00	-	N	35,1°	46°	7	50g/l	1,8ml
12/09/2013	8:30	48:00	-	N	35,2°	46°	7	50g/l	1,8ml
13/09/2013	8:30	72:00	-	N	35,1°	46°	7	50g/l	1,9ml
14/09/2013	8:30	96:00	-	N	35,1°	46°	7	50g/l	1,9ml
15/09/2013	8:30	120:00	-	N	35,1°	46°	7	50g/l	1,9ml
16/09/2013	8:30	144:00	-	N	35,1°	46°	7	50g/l	1,8ml
17/09/2013	8:30	168:00	-	N	35,2°	46°	7	50g/l	1,7ml
18/09/2013	8:30	192:00	-	N	35,1°	46°	7	50g/l	1,7ml
19/09/2013	8:30	216:00	-	N	34,7°	46°	7	50g/l	1,6ml
20/09/2013	8:30	240:00	-	N	35°	46°	7	50g/l	1,5ml
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Resultado do Ensaio</b>									
Especificado:					Encontrado:				
Resistir 240hs sem apresentar corrosão no metal base.					Peça resistiu 240hs sem apresentar corrosão no metal base.				
<b>Espessura da camada</b>									
Especificado:					Encontrado:				
Mínimo 75um.					100um á 127um.				

Detalhamento da peça após teste de *salt spray*.

Os materiais em estudo foram avaliados com base em propriedades que potencializem sua aplicação em campo, sempre com o foco em aumentar ao máximo a vida útil dos defletores de calor e reduzir o índice de perdas por quebra dos mesmos em operação.

Com base em todos os ensaios realizados entre estes materiais concluímos que, o melhor material para ser aplicado ao uso é a proposta em aço Quiet Steel®, devido as seguintes conclusões:

A proposta em LNE 380 com 4mm foi reprovada no teste de bancada e nas rodagens veiculares. A proposta em Quiet Steel® foi aprovada na bancada com vida infinita. O uso do Quiet Steel® propiciou redução de 50% na massa do defletor além de gerar uma economia no custo variável.

Capacidade de aplicação elevada em diversas partes do veículo, uma vez que, esta tecnologia é utilizada basicamente por todos os veículos de passeio.

O material é uma proposta para modificar os defletores atuais visando a redução de massa, ruído, vibração e custo.



Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.

AYRTON SENNA  
*Ayrton Senna*