

CATEGORIA 3

COMPORTAMENTO DINÂMICO DO TREM DE PASSAGEIROS DA EFVM

COM DIFERENTES

MODELOS DE CARROS NA COMPOSIÇÃO

DANIEL BARBOSA BIANCHI

BRUNO DE FREITAS BRANT

LEANDRO PRATES FERREIRA DE ALMEIDA

RAIDAM PEREIRA FERNANDES

INTRODUÇÃO

Veículos ferroviários são sistemas mecânicos complexos, compostos por centenas de componentes móveis que interagem entre si por meio de forças de atrito, sistemas de amortecimentos e condições de operação pouco estáveis. Normalmente operam em tráfego por grandes distâncias e em locais remotos.

Em 2014, a Vale fez a renovação da sua frota de carro de passageiros adquirindo carros de passageiros com padrão europeu da empresa romena ASTRA. Essa frota foi nomeada como 'moderna'.

Já em circulação, houve a necessidade desses veículos operarem com carros da frota clássica, bem como determinar o nível de conforto dessa composição em operação contínua na Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM).

Com o intuito de avaliar o conforto de passageiro, a norma DIN EN 12299:2009-08 estabelece diretrizes através do método de acelerometria para avaliação dos parâmetros aos quais os passageiros são submetidos.

DIAGNÓSTICO

A análise de conforto do carro de passageiros compreendeu a avaliação de um ciclo completo, correspondendo uma viagem de Cariacica (ES) para Belo Horizonte (MG) e uma viagem no sentido oposto de circulação em condições normais de operação. O primeiro ciclo ocorreu com o carro ambiental (frota clássica) na última posição e com o carro de passageiro Astra instrumentado na penúltima posição da composição, conforme Figura 1.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 1 - Posição do carro de passageiro no primeiro ciclo.

Ao fim do primeiro ciclo, os carros permutaram sua posição com o carro ambiental na penúltima posição e o carro de passageiro Astra na última posição conforme Figura 2.

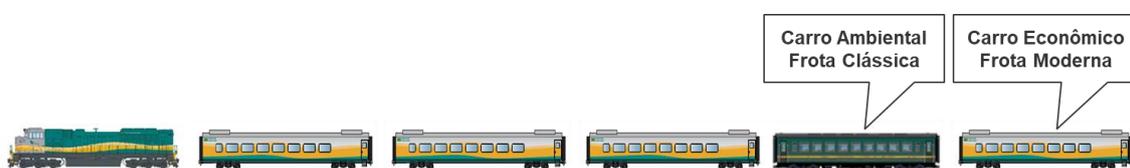


Figura 2 - Posição do carro de passageiro no segundo ciclo.

A instrumentação dos carros foi realizada utilizando acelerômetros nas 3 direções, conforme Figura 3.

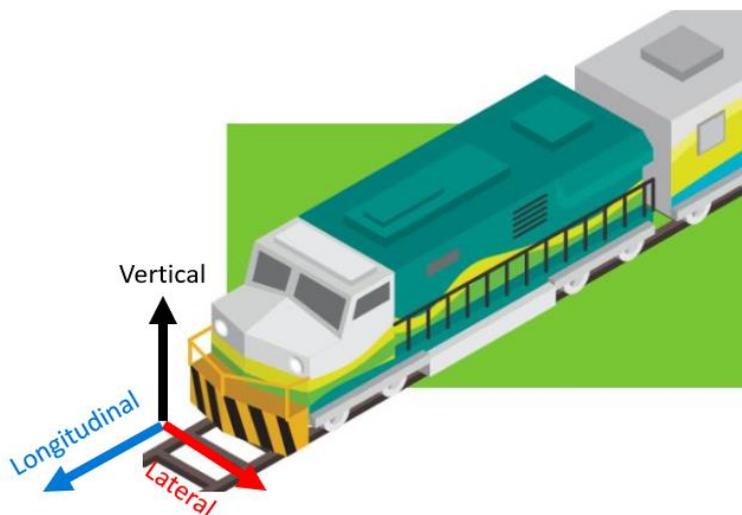


Figura 3 – Ilustração indicativa das direções das acelerações.

Os acelerômetros utilizados foram os VSP 001 da IFM, com base magnética, apoiados sobre uma estrutura metálica, parafusada no chão do carro de passageiros sobre o truque esquerdo. A Figura 4 e Figura 5 apresenta os acelerômetros instalados no carro de passageiros e carro ambiental, respectivamente.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 4 – Acelerômetros instalados no piso do carro de passageiros.



Figura 5 - Acelerômetros instalados no piso do carro ambiental.

Para a avaliação das cargas nos engates, foram instaladas rosetas tri-axiais modelo PA-06-250RB-350-LLEN da Excel Sensores.

As rosetas foram instaladas ao redor do engate, conforme Figura 6.

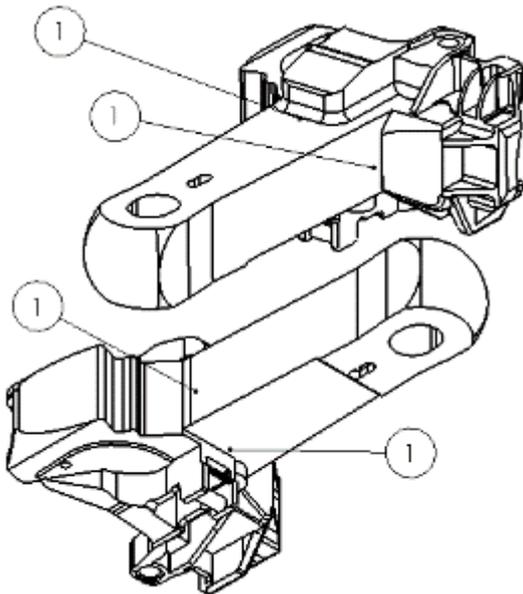


Figura 6 – Região de instalação das rosetas no corpo do engate.

Para a correta correlação entre carga e deformação medidos, o engate foi calibrado em bancada, com auxílio de cilindros hidráulicos. A Figura 7 apresenta o local de instalação dos sensores e a calibração do engate.



Figura 7 – Extensômetros instalados no engate durante calibração.

O sistema de aquisição utilizado durante os testes foi o cDAQ 9178 com o módulo de acelerometria NI 9234 e módulo de extensometria NI 9236 da National Instruments, conforme Figura 8.



Figura 8 – Sistema de aquisição National Instruments.

O sistema de aquisição foi conectado a um computador de bordo que realizou a gravação dos dados em arquivo de formato de texto, juntamente com o GPS a uma taxa de 250Hz.

A análise dos resultados foi realizada baseando-se na norma DIN EN 12299:2009-08, utilizando-se o coeficiente NMV calculado segundo a fórmula:

$$N_{MV} = 6 \cdot \sqrt{(a_{XP95}^{W_d})^2 + (a_{YP95}^{W_d})^2 + (a_{ZP95}^{W_b})^2}$$

Onde:

a_{xp95} é o valor RMS de 5 segundos do 95 percentil da aceleração na direção x;

a_{yp95} é o valor RMS de 5 segundos do 95 percentil da aceleração na direção y;

a_{zp95} é o valor RMS de 5 segundos do 95 percentil da aceleração na direção z.

Contudo, para a avaliação ao longo de toda a ferrovia, foi calculado o valor RMS a cada 5 segundos durante toda a aquisição dos dados, sendo possível obter os valores NMV, ponto a ponto, ao longo da EFVM.

Os valores de conforto segundo a norma DIN 12299:2009-08 são mostrados na Tabela 1

Tabela 1 - Valores de NMV segundo norma DIN 12299:2009-08.

NMV > 1,5	Muito confortável
$1,5 \leq \text{NMV} < 2,5$	Confortável
$2,5 \leq \text{NMV} < 3,5$	Conforto médio
$3,5 \leq \text{NMV} < 4,5$	Desconfortável
$\text{NMV} \geq 4,5$	Muito desconfortável

ANÁLISE DOS RESULTADOS

O ensaio para calibração do engate foi realizado aplicando-se o carregamento com o cilindro hidráulico referentes as pressões medidas no manômetro de 100, 150, 200, 220, 300 e 330 bar. Os resultados obtidos durante calibração do engate são mostrados na Figura 9.

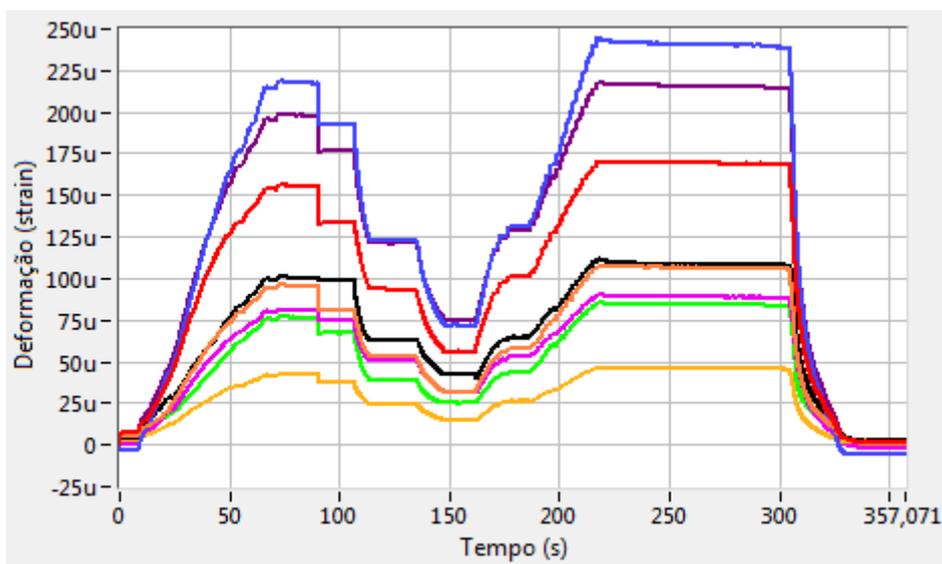


Figura 9 – Resultados da calibração das deformações do engate

É possível observar os diferentes valores de deformação para cada extensômetro, indicando possível diferença na geometria do engate ou distribuição de tensões sobre o sólido.

Os resultados obtidos durante os dois ciclos são apresentados graficamente. O eixo x corresponde ao domínio do tempo, ponto a ponto na ferrovia. A Figura 10, em vermelho, apresenta os valores de NMV do primeiro ciclo para o carro de passageiro, enquanto o gráfico na cor preta, os valores de NMV para o carro ambiental.

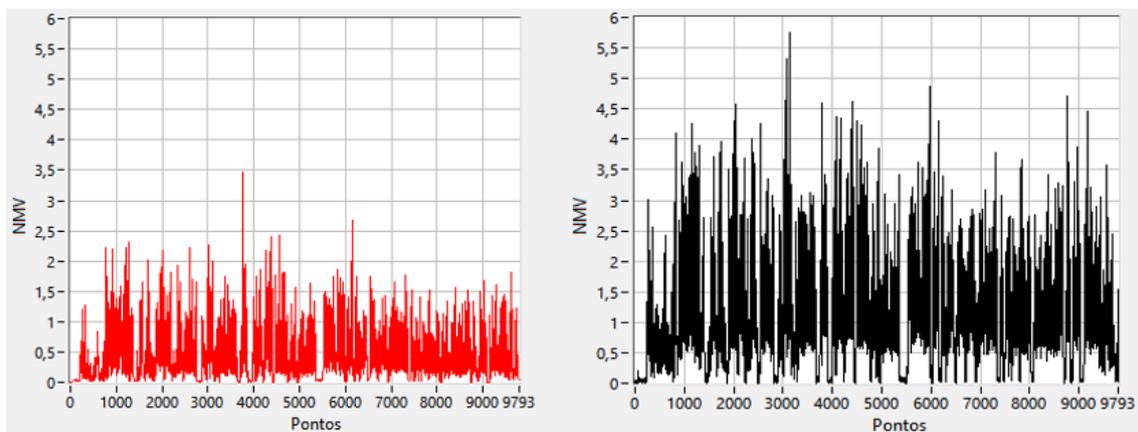


Figura 10 – Resultados de NMV para o carro de passageiros e carro ambiental respectivamente no primeiro ciclo de medição.

A Figura 11, em vermelho, apresenta os valores de NMV do segundo ciclo para o carro de passageiro, enquanto o gráfico na cor preta, os valores de NMV para o carro ambiental.

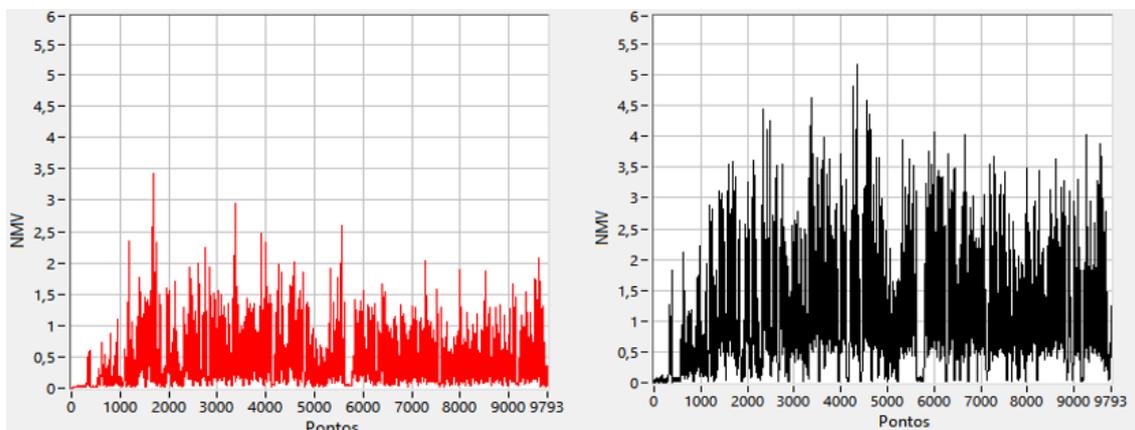


Figura 11 – Resultados de NMV para o carro de passageiros e carro ambiental no segundo ciclo de medição.

É possível observar que os valores de NMV do carro ambiental são maiores em relação ao carro de passageiros em ambos os ciclos.

Ao se avaliar os resultados obtidos nos dois ciclos e tomando-se como referência 95th (percentil) desses resultados, obtemos o valor de conforto, segundo norma DIN, para ambos os carros na Estrada de Ferro Vitória Minas, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Conforto geral da EFVM

	Carro de passageiros	Carro ambiental
NMV 95th	1,4	2,8
Condição de conforto	Confortável	Conforto médio

A Figura 12 apresenta o resultado dos valores absolutos dos módulos das acelerações nas 3 direções principais do carro de passageiro e carro ambiental, respectivamente, durante o primeiro ciclo. Valores gráficos abaixo de zero são devido a erros de medição durante o trajeto.

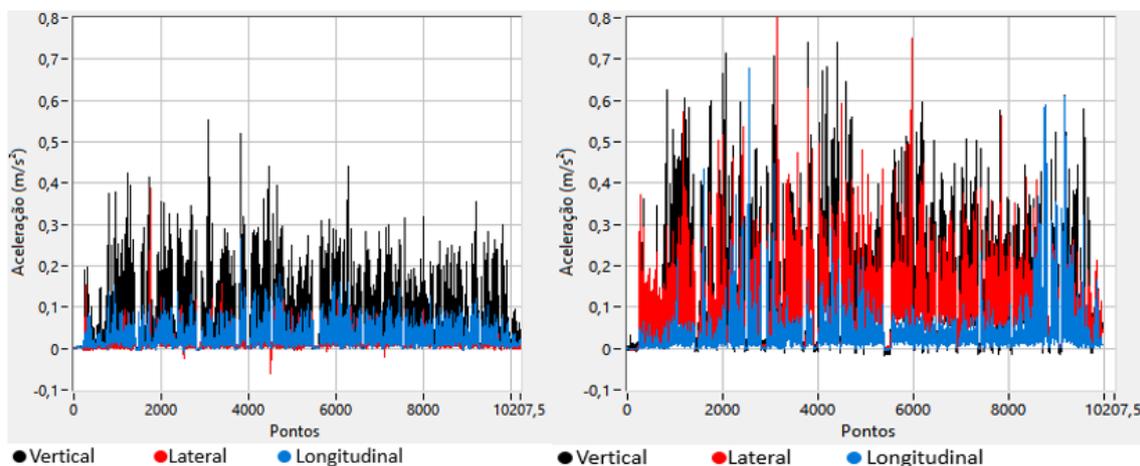


Figura 12 – Acelerações nas 3 direções no carro de passageiro e carro ambiental durante primeiro ciclo.

A Figura 13 apresenta o resultado dos módulos das acelerações nas 3 direções principais do carro de passageiro e do carro ambiental, respectivamente, durante o segundo ciclo.

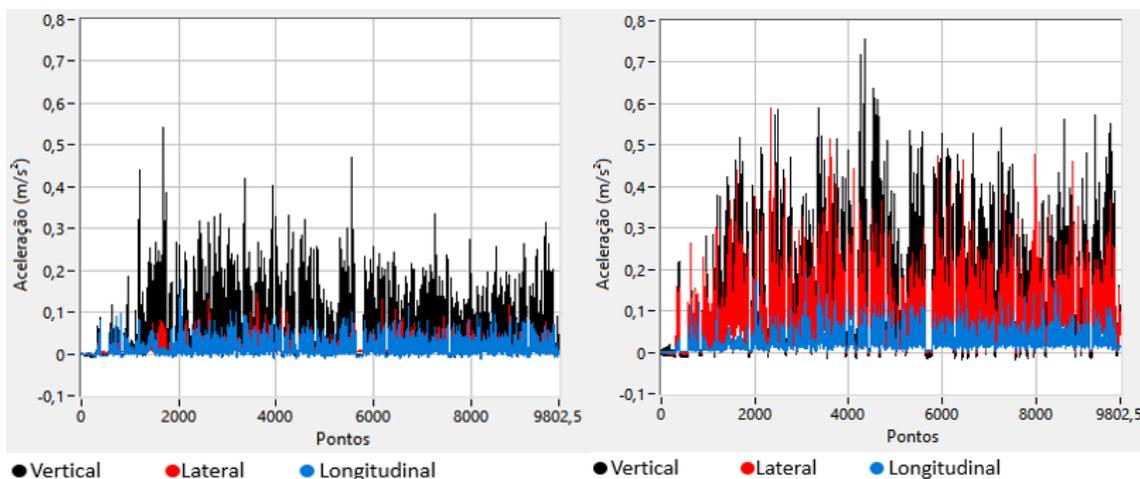


Figura 13 – Acelerações nas 3 direções no carro de passageiro e carro ambiental durante segundo ciclo.

Os gráficos das acelerações medidas mostram que para o carro de passageiros há uma predominância das acelerações verticais, enquanto para o carro ambiental há, além das acelerações verticais, acelerações laterais.

Para a avaliação da dinâmica entre os carros, foram monitoradas as cargas (tonelada-força) nos engates, durante a operação contínua do trem. A Figura 14 e Figura 15 apresentam as cargas no engate para os dois ciclos, sendo a configuração do carro da frota clássica na cauda (Figura 14) e carro da frota moderna (Figura 15).

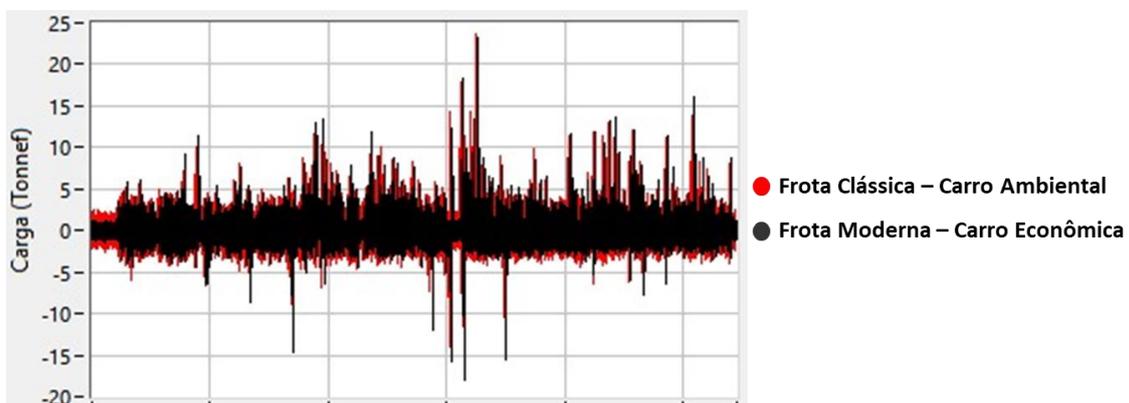


Figura 14 – Cargas axiais no engate – carro da frota clássica na cauda.

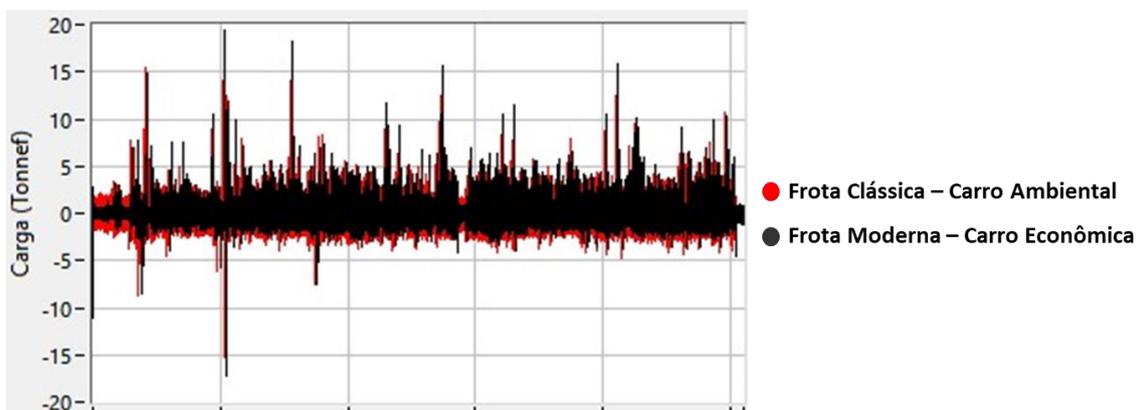


Figura 15 – Cargas axiais no engate – carro da moderna na cauda

Os valores de carga no engate não sofreram variação considerável em ambos os ciclos.

CONCLUSÕES

A avaliação de conforto do carro de passageiros permitiu obter os valores NMV, baseando-se pela DIN por toda a EFVM, obtendo nível confortável para a frota do carro de passageiros e nível de conforto médio para a frota do carro ambiental.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



As principais acelerações que contribuem para um aumento do desconforto para o carro de passageiro são as acelerações verticais. Já para o carro ambiental, são as acelerações verticais e laterais.

Não houve variação considerável em ambos os ciclos avaliados, indicando que os níveis de conforto não sofrem alterações com os carros na última posição da composição.

Os valores de carga no engate para a composição do carro de passageiros apresentaram As cargas no engate não sofreram grandes variação durante todo o trajeto e possuíram comportamentos dinâmicos similares em ambos os carros.

Não foi possível observar dados que correlacionassem valores de carga no engate com o desconforto dos carros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NATIONAL INSTRUMENT, S, NI cDAQ-9172 User Manual;

AAR, Manual of standards and recommended practices. Design, fabrication and construction of freight cars, section C part II, 2011;

DIN EN 12299:2009-08, Railway applications – Ride comfort for passengers – Measurement and evaluation;

FRA Title 49 part 213 Subpart G, Electronic Code of Federal Regulations

George, T. K. Sensing discomfort of standing passengers in public rail transportation systems using a smart phone, Department of Electrical & Computer Engineering. National University of Singapore.

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



M. Delton and L. Dale, An Investigation of Acceleration And Jerk Profiles, ASEE Annual Conference & Exposition, 2008.

VISHAY PRECISION GROUP, Instruction Bulletin B-129-8 – *Surface Preparation for Strain Gage Bonding*, Micro-Measurements, Rev 19, 2011.

VISHAY PRECISION GROUP, Instruction Bulletin B-127-14 – *Strain Gage Installations with M-Bond 200 Adhesive*, Micro-Measurements, Rev 14, 2011.