

9º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária

Natal - RN

UTILIZAÇÃO DE PERFILÔMETRO LASER PARA A MEDIDA DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL E DO AFUNDAMENTO EM TRILHAS DE RODA

Luis E. Paiva Severo¹
Paulo Ruwer¹
Rui J. Klein¹
Rodrigo Maluf Barella²
Sergio Massara²
Fernando Pugliero Gonçalves³

Neste artigo são apresentados resultados obtidos em levantamentos realizados com um perfilômetro laser na rede pavimentada sob responsabilidade do Consórcio Univias. O equipamento utilizado para a aquisição dos dados foi montado no Brasil e está configurado de modo a permitir uma caracterização contínua da irregularidade longitudinal da superfície do pavimento e ainda, o registro dos afundamentos em trilhas de roda. Também, são discutidas as vantagens oferecidas pela utilização do perfilômetro laser no que diz respeito ao estabelecimento de um banco de dados com informações acerca da condição funcional dos pavimentos as quais são fundamentais para as atividades de gerência dos pavimentos da rede avaliada.

PALAVRAS-CHAVE: perfilômetro laser; irregularidade longitudinal, afundamentos em trilha de roda, avaliação de pavimentos.

¹ Consórcio Univias: Av. Amazonas, 576 CEP 90240-541 – Porto Alegre/RS, Fone: (51) 3326-2626 – paulo.eng@univias.com.br

² Cibernétrica Equipamentos e Serviços Ltda: Rua Carlos Alberto Coelho, 2 CEP 04921-160 – São Paulo/SP, Fones: (11) 3889-7773 / (11) 9972-6470 – cibernetica@cibernetica.com.br

³ Pavesys Engenharia Ltda: Av. João Pessoa 1375/603 – Porto Alegre/RS, Fones: (51) 32 12 59 27 / (51) 96 99 86 774 pugliero@pavesys.com.br

1 - Introdução

Nos tempos atuais verifica-se com clareza o salto tecnológico e gerencial que o setor de transportes brasileiro teve com o advento das concessões rodoviárias que começaram a surgir com força nos anos 90, principalmente após a publicação da legislação a este respeito que faltava para se regulamentar o assunto que é mencionado em nossa Constituição.

Tal regulamentação e os conseqüentes projetos de concessão que dela decorreram foram o estopim para uma grande modernização do pensamento nacional acerca da Conservação Rodoviária. Foi daquele momento em diante que se passou a desenvolver em nosso país metodologias e a partir delas sistemas gerenciais visando auxiliar os novos gestores rodoviários a estruturar melhor suas decisões visando o emprego racional dos recursos e das técnicas disponíveis no mundo todo.

Assim, desenvolveu-se no país o tema da Gerência de Pavimentos que até então vivia por aqui em estado embrionário, e a partir dela ampliou-se ainda mais o foco passando a se falar em Gerência da Rodovia, o que já incluía sinalização, obras de arte, faixa de domínio, pontos negros, etc. Atualmente já se tem falado inclusive em Gerência de Infra-estrutura, o que envolve uma visão ainda mais ampla.

O impulso dado pela iniciativa privada, aliada à escassez crescente de recursos para a infra-estrutura nos temas mencionados, contaminou positivamente o setor público, visto que hoje muitos departamentos de estradas estaduais e também o órgão federal de gestão rodoviária já contam com sistemáticas de gestão racional da malha e dos recursos disponíveis.

O tema proposto para esse trabalho está na circunscrição do primeiro tema, a Gerência de Pavimentos, ou seja, a gerência do bem mais valioso que integra temporariamente o patrimônio das concessionárias e provavelmente também o item mais valioso da infra-estrutura de transporte brasileira.

Para se gerenciar um pavimento é preciso conhecer a seu respeito, além é claro, de estruturar um sistema organizacional e decisório eficaz. Conhecer a respeito do pavimento de determinada rodovia significa formar um banco de dados com aquelas informações que sintetizem da melhor maneira possível todas as suas características importantes, tanto no âmbito estrutural, quanto no âmbito funcional.

Ambos os conjuntos de características são importantes, mas se fosse preciso nomear um como o mais importante, ficaríamos com as características funcionais, afinal se determinado pavimento existe é porque dele se espera que cumpra sua função de proporcionar um rolamento rápido, confortável, seguro, e econômico.

Pois bem, finalmente chegamos na Irregularidade Longitudinal e no Afundamento Plástico em Trilhas de Roda, que são como se sabe, duas características funcionais muito importantes do ponto de vista de quem usa o pavimento e por isso muito importantes também para os gestores de qualquer malha viária.

O Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) do Consórcio Univias (SEVERO *et al.*, 2003) possui a característica básica de ser uma ferramenta multi-usuário. O SGP permite aos diferentes níveis da administração das empresas concessionárias (Sulvias, Convias e Metrovias) a obtenção de sínteses da condição e das necessidades atuais de manutenção da rede ou de uma sub-rede (Pólo ou Trecho) em um dado momento, ou efetuar previsões acerca do futuro (análises de conseqüências), além de elaborar todo um Plano Plurianual de Investimentos, abrangendo até o final do período de análise ou parte dele. O SGP fornece informações úteis para projetistas, engenheiros de materiais e pessoal ligado aos serviços de conservação.

No SGP Univias as medidas da irregularidade e do afundamento plástico nas trilhas de roda têm caráter de suma importância e foi isso que o levou ao pioneirismo de ser a primeira concessionária brasileira a modernizar este tipo de medição em toda sua malha, seguindo a tendência observada em

outros países, nos quais os medidores de irregularidade do tipo resposta já deixaram de ser usados há alguns anos.

2 - Os Perfis Transversal e Longitudinal e sua Importância

Os quatro elementos básicos que determinam a funcionalidade de um pavimento: economia, rapidez, segurança e conforto, estão intimamente ligados aos Perfis Longitudinal e Transversal do pavimento. Tais perfis podem ser medidos de diversas formas, sendo que uma das mais atuais e produtivas é com o uso de Perfilômetros Inerciais, também conhecidos como Perfilômetros Laser ou Barra Laser.

Antes de explicar o funcionamento dos diferentes equipamentos para a medição de perfis de pavimentos, é importante inicialmente deixar claro alguns conceitos sobre esse tema.

O Perfil Transversal de um pavimento é útil principalmente para a verificação de deformações superficiais plásticas que se formam normalmente nas trilhas de roda devido à ação do tráfego e que apresentam sérios riscos à segurança quando o pavimento está molhado, pois em tais deformações pode haver acúmulo de água superficial que facilita a perda do contato pneu/pavimento. Esse perfil pode também ser usado para a medida da condição de drenagem superficial da pista. No que tange a este perfil, será foco desse trabalho somente a medida do Afundamento Plástico nas Trilhas de Roda, que como pode ser inferido está ligado ao fator segurança.

O Perfil Longitudinal, por sua vez, inclui o Greide, a Irregularidade e até a Textura do Pavimento, dependendo de como e para que ele é medido. Este perfil está relacionado a todos os elementos que caracterizam a boa funcionalidade de um pavimento. Por ser de análise mais complexa, é sobre ele que trataremos mais detidamente.

A medida do Perfil Longitudinal de uma pista rodoviária pode ser feita sobre qualquer linha imaginária paralela ao eixo da pista. É correto se afirmar que só existe um perfil verdadeiro em cada linha imaginária que se escolhe, e que por isso, normalmente duas medições de perfil longitudinal só serão iguais se forem realizadas sobre a mesma linha imaginária. Em tese, pode-se dizer que o perfil verdadeiro seria quase impossível de ser medido, pois ele depende apenas da precisão dos equipamentos disponíveis para medi-lo, tanto no deslocamento horizontal, quanto na medida vertical. Quanto mais preciso o equipamento, mais estaríamos próximos do perfil verdadeiro.

Por exemplo, para quem está preocupado com a macrotextura de um pavimento, o perfil teria que incluir medidas de centésimos de milímetros, realizadas muito próximas umas das outras (a cada décimo de milímetro, por exemplo).

Para outras utilidades, como por exemplo, para conferir o greide da pista, medidas a cada metro, com precisão de milímetros podem ser mais do que suficientes.

Assim, pode-se concluir que os perfis que normalmente são medidos em um pavimento não representam o perfil verdadeiro, mas somente se relacionam melhor ou pior com ele, dependendo da metodologia utilizada e da utilidade que as medidas terão.

Seguindo a mesma lógica, os índices de conforto e de irregularidade longitudinal de uma rodovia também não precisam do perfil verdadeiro para ser calculados, pois não é todo o perfil que importa na determinação de tais índices, uma vez que eles só estão preocupados com a parte do perfil que causa oscilações (desconforto) nos veículos, o que já deixaria de fora normalmente os dados da textura e do greide da pista. Basta para este tipo de determinação um perfil que tenha uma boa relação com o perfil verdadeiro, especialmente com as características que dizem respeito ao que se quer medir.

3. A Medição dos Perfis dos Pavimentos Rodoviários

A medição de ambos os perfis de um pavimento não é uma tarefa muito complexa, pois ela pode ser feita com instrumentos simples, como por exemplo, nível e mira, que pode produzir uma medida com excelente precisão para os fins de uma avaliação funcional.

Não se pode pensar, entretanto, que o problema todo se resolverá com nível e mira, pois é impraticável realizar a medição dos perfis de uma malha rodoviária com esse tipo de equipamento. Ele é muito improdutivo, necessitaria de bloqueio da pista para ser realizado, teria custos altíssimos não só de coleta dos dados no campo, como também de processamento dessa informação, além de outros problemas como de segurança e de transtornos ao tráfego.

Pelos motivos apresentados desenvolveram-se mundo afora diversos métodos para a medição desses perfis e ou métodos que em tese gerariam como resultado as características que se gostaria de extrair dos perfis sem sequer medi-los com exatidão.

Em se tratando do perfil transversal, como a principal informação a ser extraída dele seria o afundamento plástico nas trilhas de roda, desenvolveu-se há muitos anos, um equipamento simples chamado de “treliça”. Tal dispositivo, que tem o aspecto físico de uma letra “A”, é posicionado perpendicularmente ao eixo da pista, sobre cada uma das trilhas de roda, para que o afundamento possa ser medido. Não existe nada de errado com o método ou com o equipamento, mas tal qual o nível e mira, a execução de medidas do afundamento em trilhas de roda numa grande malha rodoviária torna-se quase impraticável, pois o trabalho necessita de interrupção no tráfego, gerando insegurança ao pessoal de campo, transtornos para o usuário da rodovia, além de ser muito improdutivo.

Já para o perfil longitudinal, que como foi dito é mais complexo e está relacionado a um número maior de características funcionais, existe um número maior ferramentas que foram desenvolvidas para medi-lo ou para medir algumas de suas características.

Normalmente denominam-se os medidores de perfil por Perfilômetros ou Perfilógrafos. Este tipo de aparelho pode ser definido como um equipamento que passado sobre uma determinada superfície gera uma saída digital ou analógica relacionada com perfil dela.

Ou seja, engana-se quem pensa que um bom perfilômetro ou perfilógrafo meça necessariamente as elevações reais de uma superfície. Um bom equipamento deste tipo deve gerar como saída um perfil que seja relacionado ao perfil real, e que contenha as características procuradas naquela medição.

Medidores de perfil, em geral, trabalham com 3 elementos: ponto de referência, altura em relação ao ponto de referência e deslocamento longitudinal.

Estes três elementos estão presentes em um dos equipamentos mais simples e comuns para a determinação do perfil de um pavimento: o Nível e Mira, que dispensa maiores apresentações.

Um outro equipamento, muito menos comum no Brasil, embora já existam algumas unidades em uso por aqui há um certo tempo é o Dipstick. Trata-se de um pequeno aparelho constituído por uma caixa metálica de aproximadamente 30 centímetros de comprimento que é apoiada sobre o pavimento em dois pés circulares e que para efetuar as medições é girada (através de uma haste fixada no centro da caixa) cada vez sobre um dos pés de maneira a sempre manter o equipamento sobre a linha que se deseja medir o perfil. A cada giro do aparelho o operador aguarda alguns segundos até que o equipamento registre a sua inclinação, que é obtida através de um sensor eletrônico preciso.

As medidas efetuadas com um aparelho deste tipo podem ser mais precisas do que as realizadas com nível e mira, dependendo da precisão do sensor de inclinação do aparelho, que pode gerar medidas de altura com precisão da ordem de décimos de milímetro, enquanto que os níveis e mira mais comuns têm menor divisão em torno de 1 mm. A agilidade em relação às medidas com nível e mira também é um pouco maior, além do que, neste caso, somente uma pessoa é capaz de fazer a medição, diferentemente do nível e mira.

É fácil perceber que as medidas de perfis rodoviários feitas tanto com Nível e Mira, quanto com o Dipstick não são muito produtivas quando o objetivo é a obtenção do perfil de um trecho muito longo. Assim, na década de 60 a GM desenvolveu um perfilômetro inercial, que se tornou disponível comercialmente somente na década de 80.

Este perfilômetro era composto dos mesmos três elementos básicos, só que a grande diferença dele é que as medidas podiam ser feitas a partir de um veículo trafegando a altas velocidades.

Este perfilômetro era composto de um medidor de altura sem contato, que pode ser baseado em Laser, infravermelho ou ultra-som, um sensor de aceleração vertical (acelerômetro), um sensor de deslocamento e um sistema eletrônico para coleta e processamento dos dados (computador com o software adequado). Um esquema do perfilômetro desenvolvido pela GM está na figura abaixo.

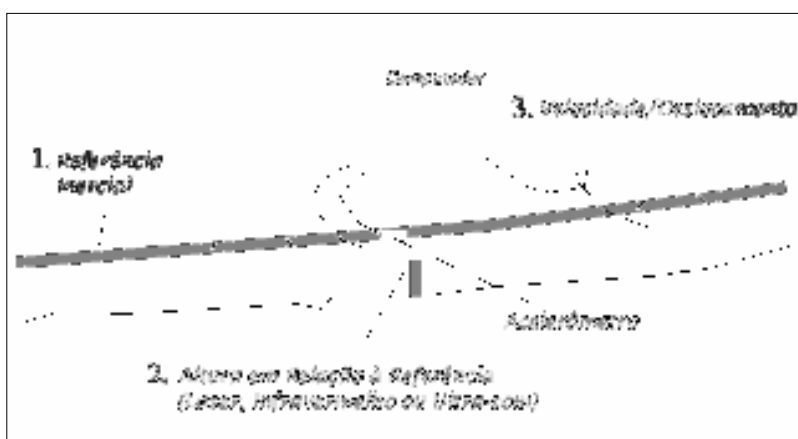


Figura 1 – Esquema do Perfilômetro Inercial Desenvolvido pela GM nos anos 60. (Sayers e Saramihas, 1998)

O funcionamento deste que foi precursor dos perfilômetros inerciais não é muito complicado de se explicar, muito embora o desenvolvimento de um sistema desses não seja nada fácil, pois depende do trabalho harmônico de todos os sensores, à uma frequência relativamente alta.

Em um momento inicial, o veículo contendo o equipamento trafega sobre o pavimento e o computador registra concomitantemente: o deslocamento longitudinal, a altura do veículo até o pavimento e a aceleração vertical do veículo. Finda esta parte, o dados gravados no computador são processados para que a aceleração vertical registrada seja transformada em deslocamento vertical do veículo, uma vez que diferentemente dos outros métodos, neste a altura de referência está se movimentando. A “transformação” da medida da aceleração em deslocamento vertical é feita através de duas integrações sucessivas. Com o valor do deslocamento calculado, basta corrigir todas as medidas de altura feitas e obter-se-á um perfil que tem relação com o perfil verdadeiro da faixa de rolamento medida.

3.1 Os Perfilômetros Inerciais e suas Vantagens em Relação a Outros Equipamentos

Existem algumas características que são comuns a perfilômetros inerciais e que são destacadas por renomados autores do assunto, tais como (SAYERS e KARAMIHAS, 1998):

- Necessitam estar em movimento para realizar as medições;

- Podem ser usados na velocidade da via, ou seja, podem passar despercebidos aos demais usuários evitando riscos à segurança e problemas de fluidez;
- Não devem ser usados a velocidades muito baixas (o que depende da sensibilidade dos acelerômetros usados);
- Não geram perfis exatamente iguais aos obtidos estaticamente (com nível e mira ou Dipstick), entretanto, a partir dos dados coletados é possível se calcular com precisão índices relativos à condição superficial, tais como o IRI ou o QI;
- Podem gerar resultados mais confiáveis que os obtidos estaticamente, pois a coleta de dados é automatizada, o que elimina fontes de erros humanos.

Entendida a conceituação geral deste tipo de equipamento para a medição de perfis de rodovias, é importante destacar também quais são efetivamente os resultados que se pode obter com um levantamento realizado por um bom perfilômetro inercial, a saber:

- Um ou vários perfis longitudinais que têm relação com o perfil verdadeiro do pavimento, dependendo do número de sensores de altura que se utiliza;
- A partir dos perfis é possível o cálculo de índices de conforto/irregularidade utilizando-se para isso os modelos originais dos índices, usados normalmente apenas em trechos de calibração de outros medidores;
- Os resultados obtidos no cálculo de índices como o IRI e o QI são comparáveis com os resultados obtidos estaticamente em bases de calibração;
- Quando são usados pelo menos 3 sensores laser convenientemente posicionados, é possível o cálculo contínuo do Afundamento Plástico em Trilhas de Roda.

Um outro assunto que pode preocupar os usuários de um Perfilômetro Inercial diz respeito à calibração do equipamento. Diferentemente de medidores de irregularidade do tipo resposta, que precisam de diversas bases de calibração e de calibrações a diversas velocidades, um Perfilômetro dispensa todo este trabalho.

Por ser constituído de um complexo projeto de hardware e software que lida com diferentes sinais elétricos provenientes dos diversos componentes do sistema, não é possível se calibrar um perfilômetro como um todo, usando bases de calibração. Simplificadamente é possível se concluir em termos de resultados obtidos que ou um perfilômetro funciona, ou ele não funciona.

Como já foi explicado, a determinação de índices de irregularidade com o uso de perfilômetros desse tipo é feita matematicamente após a obtenção do perfil que é entregue pelo equipamento. Este é um motivo complementar que evidencia não haver sentido algum em se querer calibrá-lo da mesma maneira que se faz com um medidor do tipo resposta.

As únicas partes passíveis de calibração em um perfilômetro inercial são os sensores: de altura (módulos laser), de deslocamento e de aceleração vertical.

Os sensores de altura podem ser calibrados como qualquer outro instrumento dimensional, ou seja, pela comparação com outro instrumento calibrado.

Os sensores de aceleração podem ter uma parte do seu curso facilmente calibrada com o uso de um inclinômetro/transferidor, uma vez que quando apontado perpendicularmente para baixo, um sensor de aceleração vertical deve marcar a força gravitacional; quando apontado perpendicularmente para cima, deve registrar um valor negativo da força gravitacional, sendo que os valores intermediários são naturalmente relacionados ao ângulo.

Finalmente, a calibração do sensor de deslocamento é feita normalmente trafegando-se com o veículo por um trecho rodoviário de comprimento conhecido, ou, dependendo do equipamento, essa calibração pode ser feita durante o tráfego do equipamento, com o registro no software do sistema das localizações de marcos fixados ao longo da rodovia.

Embora já se tenha frisado que perfilômetros inerciais não se calibram da mesma forma que os medidores tipo resposta, é preciso salientar que é possível e viável se verificar se determinado perfilômetro inercial funciona ou não. Para isso, basta comparar os resultados calculados de índices de irregularidade de medidas feitas com ele, com o resultado de medidas feitas com equipamentos estáticos, do tipo nível e mira ou Dipstick, sempre se preocupando em realizar as medidas “exatamente” na mesma linha. Um bom perfilômetro, bem utilizado, deve apresentar resultados muito próximos aos obtidos com os outros equipamentos, sem deixar evidente nenhuma tendência. Uma outra maneira de se verificar o funcionamento de um perfilômetro é através de testes de repetitividade. Para isso podem ser realizadas diversas medições sucessivas em um mesmo trecho, variando-se inclusive a velocidade do equipamento.

No começo da utilização dos perfilômetros inerciais em nosso país, é natural que muitos técnicos tentem compará-los com os medidores de irregularidade tipo resposta. Por isso, é importante também expor algumas das características deste tipo de equipamento, que embora não possa ser classificado como perfilômetro ou perfilógrafo, ainda é muito usado no Brasil.

Por apresentar limitações que serão evidenciadas a seguir, é possível se arriscar o palpite de que em breve se iniciará também em nosso país um processo gradual de substituição dos medidores tipo resposta por perfilômetros inerciais, tal qual já aconteceu em países mais desenvolvidos.

Os medidores de irregularidade do tipo resposta (Figura 2) são equipamentos relativamente simples, que medem cumulativamente durante o tráfego de um veículo, as variações na distância entre o eixo do veículo e sua carroceria, ou seja, medem os movimentos da suspensão do veículo.

Este tipo de equipamento, que começou a ser usado na década de 20, depende de calibração para poder ser usado. Tal calibração consiste em se correlacionar a medida indicada pelo contador do aparelho, em determinado segmento rodoviário, a uma dada velocidade, com um valor de irregularidade medido por meio de um equipamento estático.

Tal procedimento deve ser feito em diversos trechos com valores diferentes de irregularidade e deve ser refeito de tempos em tempos, na medida em que as próprias características do veículo variam com sua utilização.

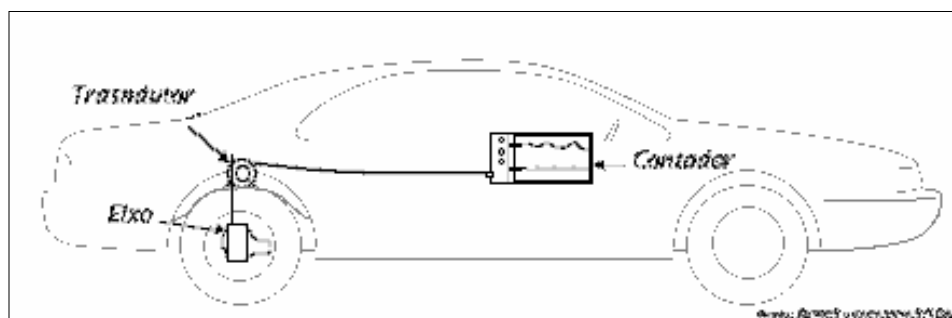


Figura 2 – Esquema de um Medidor de Irregularidade do Tipo Resposta. (Sayers e Saramihas, 1998)

Pode-se inferir, portanto, que mesmo após todo o processo de calibração que não é nada rápido nem barato de ser feito, o equipamento ainda fica dependente das condições do veículo e do motorista/operador, pois se algo como o peso do carro, as condições da suspensão, os pneus, variarem, a calibração perde sua validade.

A velocidade veículo durante a medição deve ser mantida constante, para que a correlação QI x Contagens, determinada para cada velocidade possa ser usada. Esta é mais uma dificuldade

operacional do equipamento, pois algumas vezes não é simples a manutenção de determinada velocidade em uma rodovia com tráfego.

Atualmente, a crescente preocupação com os custos de manutenção viária, trazida à tona com o advento das concessões à iniciativa privada, tem gerado a necessidade de se determinar, cada vez com mais precisão os pontos onde a intervenção na pista é necessária. Este é um outro aspecto que uma medição de irregularidade com um equipamento tipo resposta não atende, pois com ela somente se terá o valor final do índice para um trecho de determinado comprimento, enquanto que numa medição feita por um perfilômetro o resultado é um perfil longitudinal, que pode ser usado como um importante auxiliar a determinação mais exata dos pontos que precisam de correção.

A tendência de substituição dos equipamentos tipo resposta, que foi mencionada acima, pode ser visualizada com clareza na tabela abaixo, que mostra os tipos de medidores de irregularidade que estão sendo usados atualmente em alguns dos estados Norte-Americanos, segundo KSAIBATI e AL MAHMOOD (2002).

Equipment	States That Are Using	Number of States
ICC Profile	AK, PL, GA, IA, KS, MT, NE, NY, OH, SD, PA, UT, WA	13
ICI Low Profile	AE, RI, NC, ND	4
Resonance Profile	AL, CO, CT, IA, ME, MI, MS, MO, NJ, NH, SC	11
Not Specified	MD, MA, RI, VA	4
DRT Profile	CA, TX	2*
Rolling Profile	IL, IN, NY	3*
Response Profile	MS, RI	2*
Mays Meter	VT	1*

* Several states have more than one type of equipment

Uma observação atenta da tabela mostra que dos 40 estados citados, 4 não especificaram o tipo de medidor usado, apenas 1 informou utilizar um medidor do tipo resposta (Mays Meter) e os 35 estados restantes fazem uso de perfilômetros inerciais de 6 diferentes fabricantes.

Agora que já se conhece um pouco das tecnologias para a medição de perfis e o resultado dos cálculos de irregularidade e afundamento em trilhas de roda que elas podem proporcionar, vale a pena sumarizar quais são as vantagens de utilização de um perfilômetro em comparação com um medidor de irregularidade do tipo resposta e com uma treliça para a medida do afundamento plástico.

Na Medida de Irregularidade:

- É um sistema de medida quase-primário que mede o perfil do pavimento (similar à medida com nível e mira para os comprimentos de onda que interessam para o cálculo de índices de irregularidade). A irregularidade é calculada *a posteriori* usando-se a equação com a qual se calcula a irregularidade de um trecho medido com nível e mira.
- As medições não são afetadas pela velocidade do veículo, que pode variar durante a medição, entretanto não são recomendadas velocidades inferiores a 30 km/h.
- As medidas independem de trechos de calibração. O que é calibrado num perfilômetro laser são os sensores laser e os acelerômetros, sendo que tal calibração pode ser facilmente checada antes do início de cada levantamento.

- As medidas de irregularidade podem ser feitas sobre as trilhas de roda, o que normalmente não acontece em um medidor tipo resposta, que está atrelado a um eixo de veículo de passeio.
- O sistema gera medidas de irregularidade independentes em cada uma das trilhas de roda.
- O registro do perfil do pavimento é útil na determinação dos locais, dentro de cada trecho, nos quais se encontram as deformações causadoras de irregularidades, permitindo correções mais pontuais.
- A localização posterior dos trechos levantados é facilitada pela metodologia usada na medida da distância, que leva em conta os marcos presentes na rodovia.

Na Medida do Afundamento Plástico em Trilhas de Roda:

- É realizada durante a mesma passagem do veículo.
- Representa muito menos risco aos técnicos que a realizariam caminhando ao longo dos trechos.
- Representa grande economia de tempo e de recursos, pois a medição desta variável em campo requer a formação de uma ou mais equipes, dada a baixa produtividade do levantamento feito a pé.
- Não impõe interferência ao tráfego, que ao contrário, seria desviado ou interrompido temporariamente, causando aborrecimentos ao usuário e diminuição da segurança.
- Permite medidas muito mais confiáveis, pois são calculados valores médios a cada 10 metros, ou seja, são computados valores medidos a cada 1 ou 2 centímetros de deslocamento do veículo. Comumente quando se mede essa variável manualmente é feita apenas uma medida cada 20, 40, 100 ou até 200 metros.
- É fornecido como resultado, além da média, o desvio padrão das medidas consideradas, o que permite aos técnicos uma análise da variação da medida de cada uma das médias.

3.2 Ciberlaser, o Perfilômetro Desenvolvido no Brasil, Usado no Levantamento do Univas

Depois de dois anos de pesquisas e testes que incluíram estudos de ótica, eletrônica, física, matemática e pavimentação, a Cibernétrica lançou, no segundo semestre de 2003 seu perfilômetro inercial de pavimentos, chamado de Ciberlaser.

O equipamento foi concebido nos moldes daquilo que vem sendo usado no exterior, com a vantagem de ter sido desenvolvido para uso no Brasil, sendo, portanto, capaz de gerar os resultados diretamente em QI, sem a necessidade de conversão, além, é claro, de trabalhar inteiramente em Português no que diz respeito aos softwares.

O Ciberlaser é um sistema de medição dos perfis longitudinal e transversal de pavimentos rodoviários que realiza suas medições com o auxílio de medidores de distância (veículo-pavimento) sem contato (a laser), medidores de aceleração vertical do veículo (acelerômetros), de um sistema preciso de medição de deslocamento/velocidade, tudo gerenciado por um sistema microprocessado, que coordena a aquisição dos dados e os envia a um computador portátil, em tempo real, através de uma porta do tipo USB.

O sistema, que não fica devendo nada para seus pares importados, é capaz de realizar as medições à frequência de aproximadamente 1700 medidas por segundo, em cada um dos sensores (trabalhando com 5 módulos laser e 2 acelerômetros). A velocidade de deslocamento do veículo pode variar durante as medições e não tem um limite superior, o que permite – de acordo com as condições de

segurança – que o levantamento seja realizado à 120 km/h, por exemplo. Recomenda-se, entretanto, que os levantamentos não sejam realizados a velocidades inferiores a 30 km/h.

Os módulos laser do sistema funcionam por triangulação, ou seja, um feixe laser de média potência que é apontado perpendicularmente ao pavimento, tem sua posição registrada por um sensor especial, para o qual o reflexo do laser no pavimento é direcionado.

As principais características técnicas do Ciberlaser são:

- Número de Módulos (Lasers): **1 a 14**
- Curso Útil dos Sensores: **20 cm**
- Resolução dos Sensores: **0,2 mm**
- Número de Sensores de Aceleração: **2**
- Sistema de Medição da Distância: **1200 pulsos/volta**
- Taxa de Aquisição de Dados: **1700/s (Com 5 Módulos)**
- Software de **Coleta de Dados e de Compensação da Aceleração Vertical**
- Software de **Cálculo da Irregularidade**
- Software de **Cálculo do Afundamento Plástico em Trilhas de Roda**



Figura 3 - Veículo com Ciberlaser montado utilizado no levantamento do Univias.

O equipamento é bastante flexível em sua montagem, pois pode ser instalado em veículos nacionais padrão sem a necessidade de promover alterações no veículo. O tamanho da barra a ser utilizada, o posicionamento e a quantidade de módulos laser pode ser determinado pelo usuário do equipamento de forma a adequá-lo às suas necessidades.

A operação do equipamento é relativamente simples e não atrapalha o fluxo normal de veículos pela rodovia. O Ciberlaser pode ser operado por um técnico de campo auxiliado por um motorista para o veículo. Dependendo do tamanho da barra que se use para fixação dos sensores é recomendável o uso de um ou dois batedores visando garantir a segurança do levantamento e dos usuários da rodovia.

4. As Medições realizadas no Univias

Antes do serviço no Univias, o Ciberlaser já havia sido comercialmente usado para a medição de trechos da rodovia paulista Anhanguera, pois resultados de medições realizadas com os equipamentos tipo resposta não estavam sendo suficientes para dirimir dúvidas entre a irregularidade existente na pista antes e sua medição posterior à realização de serviços de recuperação do pavimento.

Demonstradas as vantagens e as diferenças deste tipo de medição aos engenheiros do Univias, eles aceitaram o papel de concessionária pioneira no levantamento de toda sua malha com um perfilômetro inercial, e os resultados colhidos mostraram que essa decisão foi realmente acertada.

A versão do sistema usada no Univias contou com 5 módulos laser que foram posicionados ao longo de uma barra com comprimento de 3,0 (três metros) de modo a se conseguir numa mesma passagem do equipamento a obtenção de dados suficientes para o cálculo do quociente de irregularidade (QI) em ambas as trilhas de roda de forma independente e também o valor do afundamento plástico nas trilhas de roda.

O equipamento que foi instalado num veículo Gol, percorreu à velocidade normal de tráfego todas as faixas de rolamento das vias concedidas ao Univias, totalizando aproximadamente 2.000 km de faixa (1.000 km de rodovias), sempre auxiliado por dois batedores devido ao comprimento da barra utilizada, visando garantir a segurança dos envolvidos nos trabalhos de campo e dos usuários das rodovias.

Os trabalhos de campo transcorreram sem problemas e foram realizados em poucos dias de levantamento.

Posteriormente os dados coletados em campo foram processados para a obtenção dos resultados da Irregularidade (QI) e do Afundamento Plásticos nas Trilhas de Roda, ambos os resultados foram calculados independentemente para a trilha esquerda e direita.

4.1 A utilização dos Dados na Gerência de Pavimentos no Univias

O objetivo central do SGP Univias é o de manter e até elevar o nível de serviço dos pavimentos para o usuário, dentro do que é requerido pelo contrato da concessão e de modo a minimizar os custos de manutenção para a concessionária. Isto significa a busca por uma alocação de recursos eficaz, além de se evitar custos de manutenção extraordinários, os problemas associados com equipes de conservação trabalhando constantemente com soluções tipo "band-aid", e os problemas trazidos para o usuário por interrupções e atrasos. Para tanto, o SGP persegue a implementação das soluções de maior custo-eficácia cuja aplicação seja possível, tomando por base conceitos e ferramentas da Engenharia de Pavimentos, tais como:

- Diagnóstico baseado nos tipos, extensão e severidade dos defeitos, idade e estrutura do pavimento, e tráfego atuante;
- Modelos de previsão de desempenho para pavimentos e para técnicas de conservação e de restauração;

- Coerência completa entre o que é requerido pelos modelos aplicáveis em nível de projeto e os modelos utilizados em nível de rede.

Os dados derivados das avaliações realizadas com o Ciberlaser na rede pavimentada do Univas vêm sendo utilizados como elementos auxiliares fundamentais no que se refere à definição de prioridades de investimentos na manutenção dos pavimentos. Nas Figuras 4 e 5 estão mostradas sínteses obtidas em termos do estado dos pavimentos.

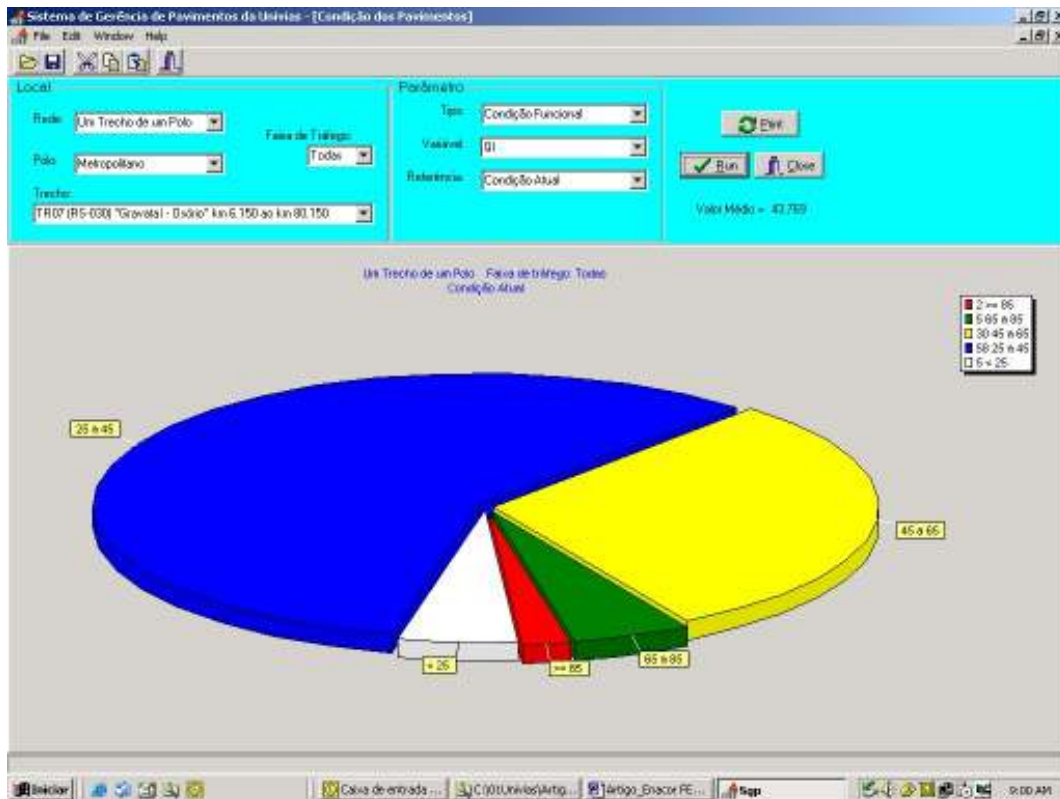


Figura 4 – Síntese da condição dos pavimentos em termos de QI

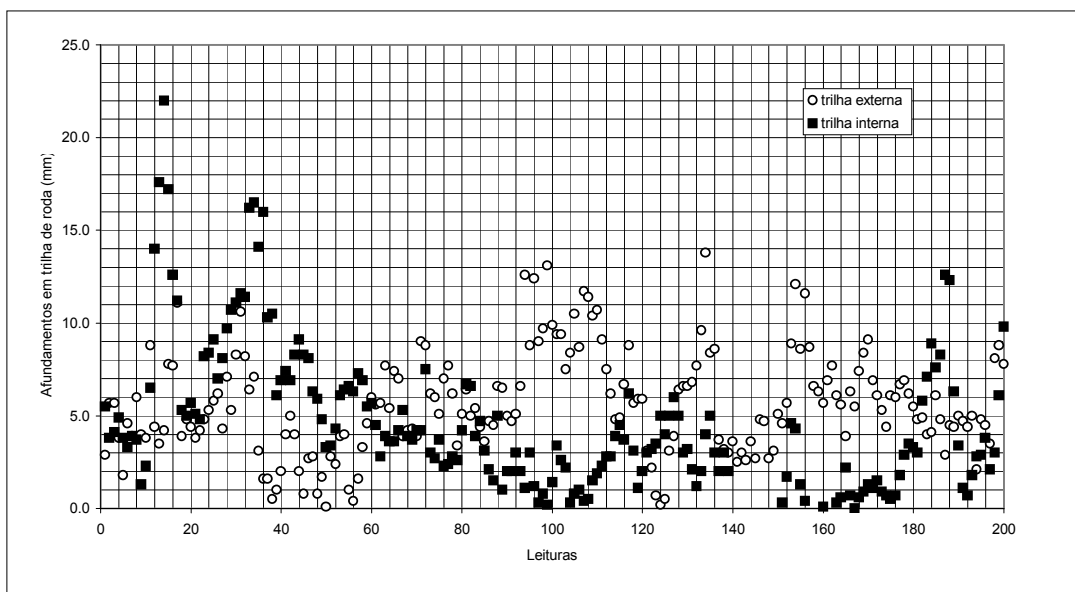


Figura 5 – Variação dos afundamentos em trilha de roda (ATR) ao longo de um trecho¹

5. Considerações finais

A experiência e o reconhecimento da importância da avaliação da irregularidade e da medida do afundamento plástico nas trilhas de roda de pavimentos foram imprescindíveis para a decisão de dar um passo adiante visando conferir as promessas que os perfilômetros inerciais apresentavam na literatura.

O investimento feito se mostrou útil e compensou, na medida que hoje a concessão passou a contar com dados mais confiáveis de irregularidade e também do afundamento nas trilhas de roda que já estão sendo usados para que as decisões de investimento sejam mais acertadas não só do ponto de vista de onde intervir, mas também visando escolher quando e com qual técnica deverão ser feitos os reparos.

A obtenção de dados confiáveis com o Ciberlaser combinados com um banco de dados e um sistema de auxílio à tomada de decisões, como é o caso do SGP Pavesys geram resultados positivos não só para a concessionária, como também e principalmente para o usuário. Tais elementos não estão no Unvias por acaso, por isso é importante valorizar o apoio técnico e gerencial da concessionária, que analisando constantemente as opções no mercado, tem tomado decisões acertadas que mantém a empresa numa posição de destaque dentre as concessionárias brasileiras de rodovias.

6. Referências Bibliográficas

GILLESPIE, Thomas D. *“Everything You Always Wanted to Know about the IRI, But Were Afraid to Ask!”* The University of Michigan Transportation Research Institute. September 1992.

KSAIBATI, Khaled and AL MAHMOOD, Shahriar. *“Utilizing the Long-Term Pavement Performance Database in Evaluating the Effectiveness of Pavement Smoothness”*. March, 2002.

¹ Os afundamentos em trilha de roda indicados correspondem aos valores médios de “n” medições, calculados a cada 10 metros de faixa de rolamento.

PAVESYS ENGENHARIA LTDA. *Manual Técnico do Sistema de Gerência de Pavimentos do Consórcio Univias*, 2002.

SAYERS M. W. and KARAKIHAS S. M. “*Interpretation Of Roughness Profile Data*”. Federal Highway Administration, June, 1996.

SAYERS M. W. and KARAMIHAS S. M. “*The Little Book of Profiling*”. September, 1998.

SEVERO, L.E., RUWER P., GONÇALVES, F.P. & RODRIGUES, R.M. *Sistema de Gerência de Pavimentos do Consórcio Univias*. 8º ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Gramado – RS, 2003.

TIMM, David and McQUEEN, Jason. “*A Study of Manual vs. Automated Pavement Condition Surveys*”. April, 2004.