

2 Transdutores Ópticos para Ensaio Veiculares

Atualmente os transdutores ópticos são os equipamentos mais empregados na realização de ensaios veiculares que envolvam medições de velocidade e deslocamento devido as suas elevadas exatidão e confiabilidade.

Antes de se falar com mais detalhes sobre o seu funcionamento é necessário que se comente brevemente sobre um dos seus principais componentes que é o transdutor fotoelétrico.

2.1. Transdutores fotoelétricos

Os transdutores fotoelétricos convertem sinais luminosos em sinais elétricos. Tais sinais luminosos, dependendo do tipo e aplicação do transdutor, podem variar desde o infravermelho até o ultravioleta. Segundo Dally *et al.* (1993), existem dois tipos de transdutores: os que detectam variação de radiação térmica e os que detectam variações de luminosidade. Os transdutores empregados no equipamento estudado neste trabalho são os do segundo tipo.

Existem várias classificações para transdutores fotoelétricos, variando de acordo com a literatura de referência. Aqui será adotada a classificação definida por Ambrosius *et al.* (1966), que utiliza o efeito empregado por cada um, conforme mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Classificação dos transdutores fotovoltaicos.

Transdutor	Efeito
Transdutor fotovoltaico	Gera uma diferença de potencial entre dois eletrodos quando estes são iluminados
Transdutor fotocondutivo	Quando o material é iluminado ocorre uma redução na resistência
Transdutor foto-emissivo	Produz uma emissão de elétrons quando as suas superfícies são iluminadas

O emprego dos transdutores fotoelétricos para a medição de deslocamento é indicado para situações em que não se admite o contato entre o transdutor e o objeto a ser monitorado. Seu funcionamento baseia-se na utilização da descontinuidade da luz produzida pelo objeto provocada por uma marcação presa ou pintada nele. A iluminação possui uma intensidade constante com o tempo e é proporcionada por um dispositivo auxiliar.

A marcação de descontinuidade é focada sobre um fotocatodo. Os elétrons são emitidos do fotocatodo em proporção direta à intensidade luminosa que incide sobre a superfície. Estes elétrons são acelerados através da placa de abertura devido à diferença de potencial existente entre ela e o catodo.

Os elétrons que passam através da placa produzem uma corrente que é proporcional à intensidade luminosa no fotocatodo em um ponto correspondente a localização da abertura. Esta corrente é amplificada por meio de um tubo multiplicador de elétrons antes de chegar ao anodo. A Figura 2.1 ilustra o transdutor fotoelétrico como os seus principais componentes.

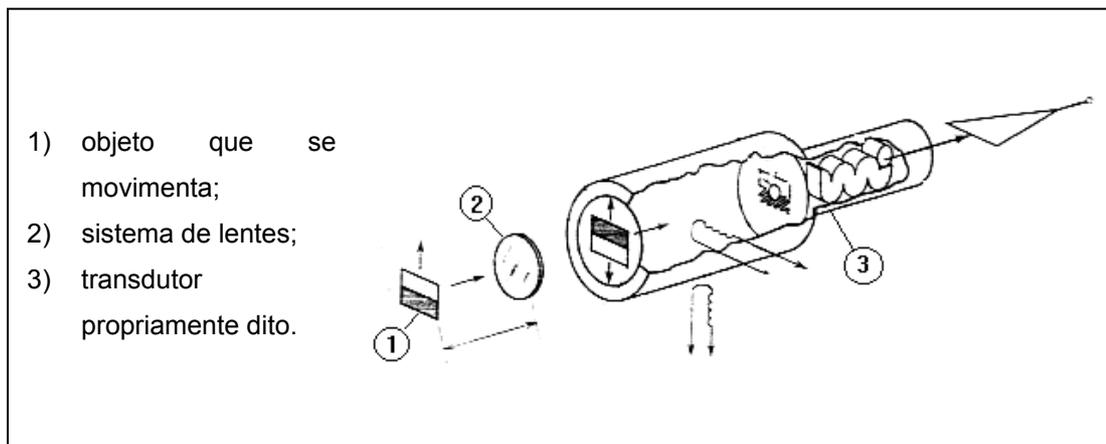


Figura 2.1: Transdutor fotoelétrico para medição de deslocamento.

Fonte: Dally *et al.* (1993).

2.2. Histórico

Anteriormente ao uso dos transdutores ópticos empregava-se uma “quinta roda” (Figura 2.2) ligada ao veículo que, como o próprio nome diz, era uma roda que ficava em contato com o solo.

Este elemento era o transdutor responsável pela medição dos valores de velocidade e deslocamento do veículo, porém ela apresentava alguns inconvenientes, por exemplo, dependendo da velocidade do veículo e/ou das irregularidades do terreno, perdia-se o contato entre o transdutor e o solo, além da própria resistência ao rolamento afetar as medições.

Tais fatores eram limitantes à utilização deste transdutor e para a minimização destes problemas os ensaios deveriam ser realizados em pisos os mais uniformes possíveis e em velocidades não muito elevadas.



Figura 2.2: Emprego da “quinta roda”.
Fonte: Lucas (1994).

Segundo Erwin (2001), o emprego dos equipamentos ópticos em ensaios veiculares tem seu início em 1972, quando uma companhia alemã com longa tradição em óptica, a **Ernst Leitz**, iniciou o desenvolvimento de uma linha de transdutores com tecnologia óptica para a medição de velocidade e distância.

A intenção da empresa era criar um equipamento alternativo à “quinta roda”, porém deveria ter como característica uma maior exatidão de medição. O transdutor desenvolvido recebeu a denominação de “CORREVIT”, que vem a ser uma combinação das palavras “*correlation*” (correlação em inglês) e “*vitesse*” (velocidade em francês). Nascia, assim, a tecnologia dos transdutores ópticos para ensaios veiculares.

Com o passar do tempo esses transdutores foram sofrendo modificações e incorporando novas tecnologias de aquisição e processamento de dados, tornando-se mais compactos e mais exatos. A construção dos transdutores ópticos inclui

componentes de eletrônica e óptica finas combinando duas tecnologias avançadas: correlação óptica e filtragem espacial de frequência.

2.3. Funcionamento

Os transdutores ópticos tradicionais, conforme descrito no item anterior, projetam sua luz sobre uma superfície reflexiva precisamente definida, que serve como padrão para realizar a medição, sendo tal padrão ajustado ao material a ser testado. Os transdutores ópticos para ensaios veiculares empregam este mesmo princípio, porém projetam uma luz de alta intensidade sobre uma superfície reflexiva aleatória produzindo uma distribuição, também aleatória, de pontos de contrastes de luz e sombras. A Figura 2.3 ilustra o funcionamento de um transdutor óptico onde pode ser visto o transdutor fotoelétrico (1) e o sistema de lentes (2).

Os feixes de luz refletidos por essa superfície passam, então, através de uma lente que os projeta sobre um retículo transparente. Atrás desse retículo existem dois sensores fotoelétricos que, ocorrendo movimento relativo entre o transdutor e a superfície reflexiva, geram pulsos elétricos proporcionais aos comprimentos de onda captados com modulação flutuante em amplitude e fase. Os pulsos gerados por cada um dos sensores são idênticos em amplitude porém defasados de 180° .

Para se obter apenas um único sinal que corresponda à realidade do movimento, utiliza-se uma determinação estatística, através da frequência central representativa ou frequência fundamental do movimento relativo entre o transdutor. Esta frequência é a média dos valores de todas as frequências captadas. A partir deste ponto pode-se correlacionar a velocidade de deslocamento com a frequência obtida, sendo a velocidade diretamente proporcional à frequência.

O mesmo ocorre com a distância percorrida. Integrando-se a equação da velocidade obtém-se que a distância percorrida em determinado espaço de tempo é diretamente proporcional ao número de pulsos gerados neste mesmo espaço de tempo.

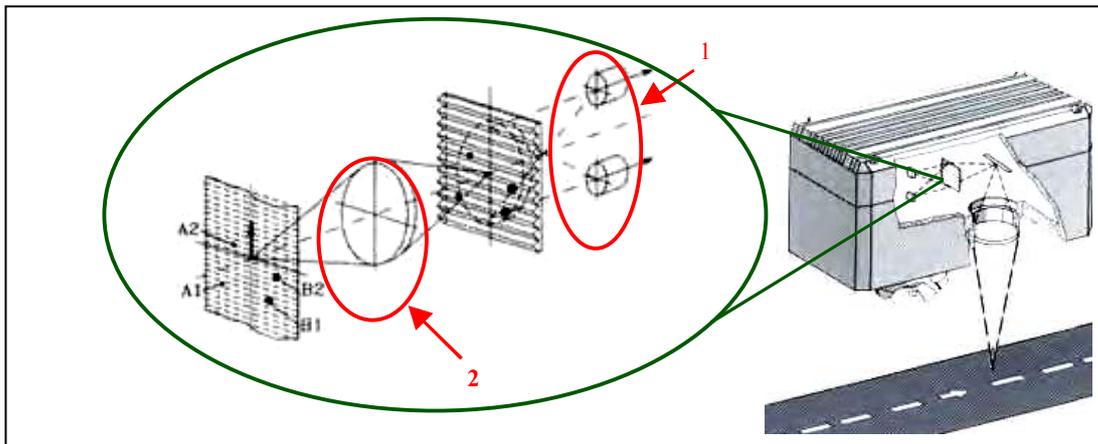


Figura 2.3: Funcionamento do transdutor óptico.
Fonte: CORRSYS-DATRON.

A grande vantagem desses equipamentos reside na possibilidade de se poder realizar medição de velocidades muito pequenas (abaixo de 1 km/h) até velocidade elevadas (acima de 300 km/h) com adequado nível de exatidão. Uma outra vantagem é a sua facilidade de montagem e de utilização, factível de ser implementada em poucos minutos com a instalação do transdutor no veículo.

A medição de velocidade em mais de uma direção é obtida através do emprego de desenhos especiais do retículo, juntamente com sistemas de filtragem eletrônica. Um exemplo disso é a segmentação da área do retículo que permite a medida de velocidade em duas direções, já um retículo com quatro faces permite a medição de velocidade com o adicional da detecção do sentido do deslocamento. Assim pode-se medir a velocidade e distância percorrida na direção longitudinal ou transversal, altura do veículo em relação ao solo e outras características dinâmicas.

2.4. Tipos de transdutores

Dentre a vasta gama de transdutores ópticos existentes no mercado, descrevem-se, a seguir, os tipos comumente empregados para ensaios veiculares.

2.4.1. Transdutores ópticos para medições longitudinais (um eixo)

Medem a velocidade e o deslocamento no sentido longitudinal do movimento, ou seja, medem o deslocamento para frente ou para trás mas não conseguem medir os deslocamentos laterais (Figura 2.4).



Figura 2.4: Transdutor longitudinal montado na lateral de um veículo.
Fonte: CORRSYS-DATRON.

2.4.2. Transdutores ópticos para medições longitudinais e transversais (2 eixos)

Medem a velocidade e o deslocamento nos sentidos longitudinal e transversal do movimento, podendo, além disso, medir aceleração, ângulo de deslizamento do pneu, ângulo de deriva (*drift*) e ângulo de guinada.

2.4.3. Transdutores ópticos para medição de altura do veículo

Operam através do princípio da triangulação, sendo as distâncias determinadas através de triângulos hipotéticos com comprimento dos lados iguais às distâncias medidas. O transdutor incorpora um transmissor e um receptor sendo os dois, normalmente, alojados no mesmo corpo. O transmissor produz um feixe luminoso o qual é projetado sobre o solo sendo refletido de volta e captado pelo receptor. Esta luz refletida é difusa e é projetada por uma lente sobre um detetor

fotoelétrico, o qual produz um sinal elétrico baseado no ponto de incidência de luz (Figura 2.5).



Figura 2.5: Esquema de montagem de dois transdutores para a medição de altura.
Fonte: CORRSYS-DATRON.

2.4.4. Transdutores ópticos para medição em três eixos

Permitem a medição simultânea em três eixos utilizando apenas um conjunto óptico, ou seja, podem realizar medições de velocidade e distância percorrida nos sentidos longitudinal e transversal de movimento ou de velocidade vetorial, além de poderem medir a distância do veículo ao solo através de triangulação. O emprego conjunto dos transdutores de medição de altura com os transdutores para medição em três eixos possibilita a medição dos ângulos de arfagem e rolagem.

Segundo Erwin (2001), a medição destes dois últimos parâmetros sempre foi um grande problema, pois o emprego de equipamentos com sistemas giroscópicos apresenta um custo muito elevado, além do fato de utilizarem como padrão de referência um horizonte artificial e não o plano da pista de ensaios.

Sistemas com feixe *laser* são menos exatos em pisos irregulares porque o feixe possui um diâmetro muito pequeno, praticamente pontual, que é refletido de forma irregular pelas imperfeições do terreno, isto ocasiona um número de medições com um espalhamento muito grande. Outro fator que contribui para a pouca eficiência dos sistemas com feixe *laser* é o meio ambiente. Efeitos como a

variação de coloração do solo, umidade e radiação solar produzem uma perda da exatidão da leitura.

A realização dessas medições consiste no emprego de três transdutores, montados na configuração “L” ou “T”, com seus respectivos componentes eletrônicos, operando independentemente um do outro. Adota-se a configuração “T” para explicar o processo de medição, a qual é ilustrada nas Figuras 2.6 e 2.7.

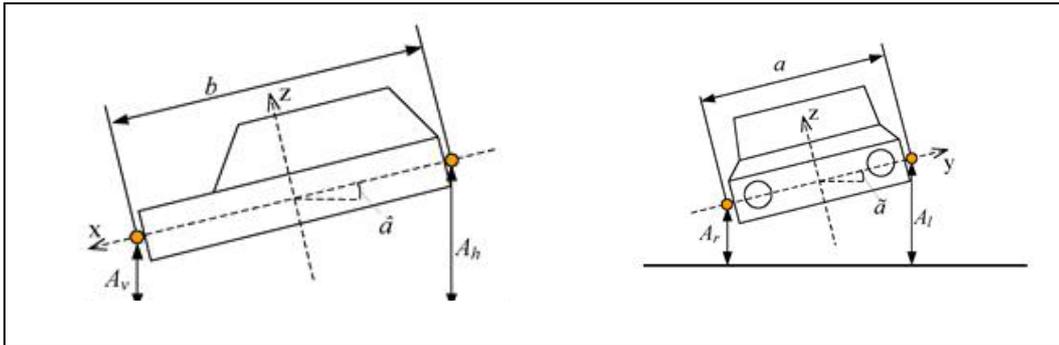


Figura 2.6: Medição dos ângulos de arfagem e guinada pela diferença de altura em relação dos transdutores
Fonte: CORRSYS-DATRON.

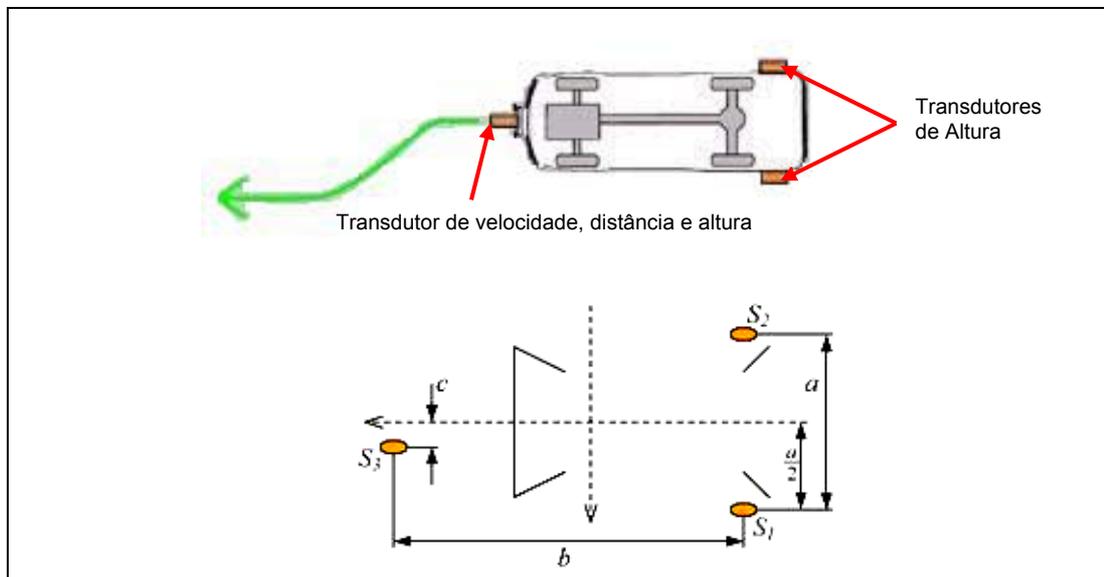


Figura 2.7: Montagem de transdutores para a medição dos ângulos de guinada e arfagem.
Fonte: CORRSYS-DATRON.

Na configuração "T", o primeiro transdutor é montado transversalmente na dianteira do veículo, onde adquire os dados de velocidade e distância percorridas nos sentidos longitudinal e transversal de movimento, além de altura do veículo

em relação ao solo. Os outros dois transdutores, que só medem altura do veículo em relação ao solo, são montados um na lateral traseira esquerda e outro na lateral traseira direita (daí vem o nome de configuração “T”).

Os dados coletados por cada um desses transdutores são processados obtendo-se os valores distância ao solo de cada um dos transdutores, do ângulo de arfagem, do ângulo de rolagem, da distância percorrida longitudinal e transversal e da velocidade longitudinal e transversal.

2.5. **Sistemas *Laser-Doppler***

O funcionamento deste sistema se processa da seguinte forma: o feixe *laser* é dividido em dois, um interno que é o feixe de referência e outro que o feixe de sinal. O feixe de sinal é focado sobre a superfície que se move através de um espelho controlado eletronicamente para que vários pontos possam ser coletados em um padrão pré-definido, sendo o feixe refletido combinado com o feixe de referência. O comprimento do percurso do feixe de sinal é alterado quando a superfície se move de forma que a intensidade luminosa é modulada em padrões de claro e escuro de forma que as luzes dos dois feixes se somam ou se anulam. Um ciclo completo em variação de intensidade ocorre quando o movimento da superfície é da metade do comprimento de onda.

O sentido da velocidade da superfície é dado através do uso de dois detetores espaçados entre si de um quarto do comprimento de onda emitido. Um dos detetores é chamado de detetor co-seno e o outro de detetor seno. Através do uso da modulação da frequência e detecção de crenas, uma tensão de saída é disponibilizada que dá o sinal e a amplitude da velocidade da superfície.

2.6. **Transdutores por microondas**

Os transdutores por microondas oferecem um grande número de vantagens sobre os seus similares ópticos. Eles são, na verdade, radares que empregam o chamado efeito *Doppler*. Comparando-se a frequência emitida com a frequência

refletida pela superfície móvel pode-se calcular a velocidade e a distância percorrida.

Assim como os transdutores ópticos, os transdutores por microondas possuem um canhão de luz. Possuem, ainda, uma antena que compensa pequenas oscilações da carroceria do veículo, quando este realiza curvas. No caso de grandes desvios os resultados apresentados são incoerentes, por isso são mais empregados em ensaios que utilizem trechos retos de pista.

Para minimizar tais efeitos alguns transdutores utilizam-se de dois feixes luminosos, que garante exatidão de leitura em uma ampla faixa de ensaios.

Embora esses transdutores sejam mais exatos que a “quinta roda”, são menos exatos que os transdutores ópticos, sendo mais empregados quando se exige uma distância entre o transdutor e o solo muito grande, como em veículos utilitário e trens. Um exemplo deste tipo de transdutor é o Microstar 1 (Figura 2.8) de fabricação da CORRSYS-DATRON SensorSystems.



Figura 2.8: Transdutor por microondas.
Fonte: CORRSYS-DATRON.

2.7. Transdutores por sistema GPS

A tecnologia mais recente empregada em transdutores sem contato com o solo é a tecnologia do GPS (*Global Position System*). Esse sistema funciona da seguinte forma: um receptor de GPS, no solo ou montado num veículo, simplesmente calcula o tempo que o mesmo leva para captar os sinais individuais de pelo menos três satélites. Usando cada um destes intervalos de tempo e multiplicando cada um deles pela velocidade da luz, o receptor calcula a distância

que se encontra de cada satélite. O receptor então calcula sua localização usando a Lei do Co-seno (um processo similar à triangulação). A velocidade poderá ser obtida pelo cálculo de quanto tempo o receptor leva para se mover de um ponto para outro.

Desde que o governo americano retirou o erro deliberado existente nos sinais do GPS, tornou-se possível o seu uso em medições exatas de velocidade e distância, em qualquer condição, seja no mar, na terra ou no ar. Devido a isso surgiu uma nova geração de transdutores.

Sua instalação é simples: uma antena magnética de GPS é montada no veículo e conectada a um computador portátil através de um sistema de aquisição de dados (Figura 2.9). Quando o sistema é ligado inicia imediatamente a aquisição de dados proveniente dos satélites e com isso faz as medições de velocidade, distância e, se for o caso, aceleração.



Figura 2.9: Equipamento com transdutor GPS.
Fonte: CORRSYS-DATRON.

2.8. Equipamentos atuais que utilizam a tecnologia dos transdutores ópticos

Os equipamentos mais empregados atualmente que utilizam transdutores ópticos são os da família CORREVIT®, de fabricação da CORRSYS-DATRON SensorSystems. A Tabela 2.2 descreve alguns dos transdutores mais modernos e a Tabela 2.3 os sistemas de aquisição de dados que são ligados a eles. As Figuras 2.10 e 2.11 mostram alguns deles.

Tabela 2.2: Exemplos de equipamentos disponíveis no mercado.

Transdutores	Longitudinais	L-400, LL, L-CE (que medem simultaneamente velocidade, guinada, deriva, velocidade transversal e desvio de trajetória) e L-200 (que pode ser montado internamente ao veículo)
	Transversais	S-400, SL, ST e S-CE (que medem simultaneamente velocidade, guinada, deriva, velocidade transversal e desvio de trajetória)
	Altura	H7 e H-CE
	Três eixos	HS-CE



Figura 2.10: Equipamentos da CORRYSYS-DATRON: 1) transdutor transversal S-CE e 2) transdutor de três eixos HS-CE.
Fonte: CORRYSYS-DATRON.

Tabela 2.3: Sistemas de aquisição de dados.

Sistemas de aquisição de dados	DAS-2A ⇒ Composto de uma unidade de processamento de dados que possui as entradas e saídas de sinais. A programação, controle e monitoração dos ensaios podem ser feitos através de um computador portátil (<i>laptop</i>) ou de um <i>display</i>
	MicroEEP-11 ⇒ esse sistema é na verdade um sistema modular com vários cartões com as entradas e saídas de dados, que possui teclado e tela



Figura 2.11: Sistemas de aquisição de dados: 1) MicroEEP-11 e 2) DAS-2A.
Fonte: CORRYSYS-DATRON.