

## SISTEMA MECATRÔNICO PARA MEDIDA DE DESVIOS AXIAL E RADIAL DE RODAS UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL

**Fernando Toshihiko Mitsuyassu**

Engenharia de Produto

ArvinMeritor do Brasil – Divisão LVS

Limeira – SP - Brasil

e-mail: fernando.mitsuyassu@arvinmeritor.com

**Luís Gonzaga Trabasso**

Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Tecnológico Aeroespacial

São José dos Campos – SP – Brasil.

e-mail: gonzaga@mec.ita.cta.br

**Resumo.** A roda é um item de segurança do veículo e requer um rigoroso controle dimensional. Atualmente o sistema de medição da oscilação da roda, medição de desvios situada entre etapas de produção, consiste no emprego de relógios comparadores. Desta forma, a qualidade da informação obtida depende muito da habilidade do operador, pois é necessário configurar o sistema, ler e registrar os dados, e ainda, estando suscetível ao desgaste físico pelo trabalho repetitivo. Como uma solução para o problema mencionado, é apresentado neste trabalho o estudo de um sistema mecatrônico utilizando recursos de visão computacional para medir a oscilação de rodas.

**Palavras-chave:** Mecatrônica, Visão Computacional, Roda automotiva, Metrologia.

### 1. INTRODUÇÃO

A roda de aço, item de segurança do veículo, é composta em sua maioria por dois componentes, o aro e o disco. Estes componentes são produzidos por processos de laminação e estampagem respectivamente, e então a roda é montada e soldada, Fig. (1).

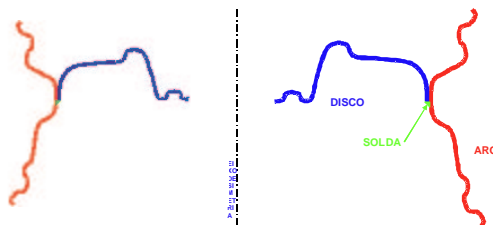


Figura 1. Esquema de uma roda.

Para a certificação da roda é requerida que seja aprovada em rigorosos testes de resistência, durabilidade, controle dimensional, entre outros.

Concentrando-se no controle dimensional, podemos exemplificar o desvio axial e radial como dimensões a serem controladas, ou oscilação axial e radial como na Fig. (2).

Uma grande variação dos desvios axial e radial pode prejudicar o balanceamento, a circularidade da roda, a montagem do pneu, a segurança e desta forma reprovar o produto final.

Os valores das tolerâncias para estes desvios, comumente especificados pelas montadoras de veículos, são apresentados na Tab. (1).

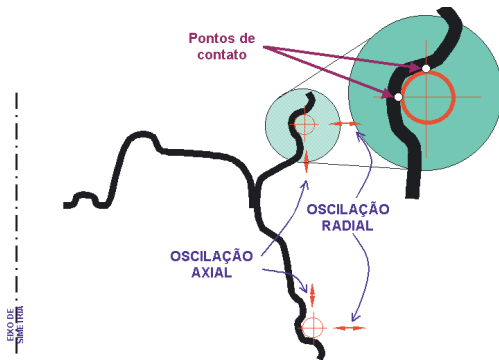


Tabela 1. Valores usuais da tolerância dos desvios

Categoria	Axial [mm]	Radial [mm]
Veículos de passeio	0.5 ~ 0.8	0.5 ~ 0.8
Veículos tipo Pickup	≅ 1.0	≅ 1.0

Figura 2. Pontos de avaliação da oscilação radial e axial

O processo atual analisado emprega o uso de relógios comparadores para medir estes desvios. Este processo requer que o posicionamento e a leitura sejam efetuados manualmente, fazendo com que a qualidade dos resultados dependa da habilidade do funcionário.

Esta inspeção é realizada ainda em etapas intermediárias de produção, especificamente, após a montagem e antes da pintura da roda. Devido a este fato, a utilização de equipamentos baseados no uso de roletes não apresentaram bons desempenhos, pois acumulava sujeira e prejudicava desta forma a leitura, mas os mesmos são eficientes quando as rodas já estão pintadas. A inspeção é requerida antes da pintura, pois o processo de pintura é contínua e requer um tempo em torno de 2 horas o que acarreta, caso a inspeção seja realizada após a pintura, na demora para a tomada de ação e sucateamento de um lote em torno de 5000 peças em processo de pintura.

Desta forma é proposto o desenvolvimento de um sistema mecatrônico utilizando recursos de visão computacional para realizar esta inspeção.

## 2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO ATUAL

### 2.1. Medida de Oscilação de Rodas utilizando-se Relógios Comparadores

A roda é posicionada manualmente no dispositivo de inspeção, guiada pelo furo central (furo guia), apoiando a superfície de apoio na superfície do dispositivo.

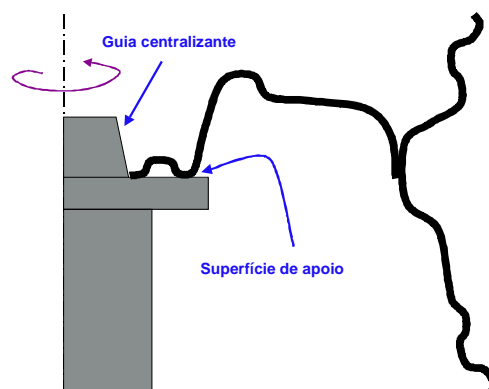


Figura 3. Esquema do dispositivo de posicionamento da roda para inspeção de oscilação

Em seguida os relógios, previamente configurados, são posicionados nas posições de medida. Estas posições são definidas pelo ponto de contato da esfera de 16 [mm], ALAPA (2001), ou seja, a

8 [mm] da aba, para medir a oscilação radial e a 8 [mm] da base do assento, para medir a oscilação axial, Fig. (2).

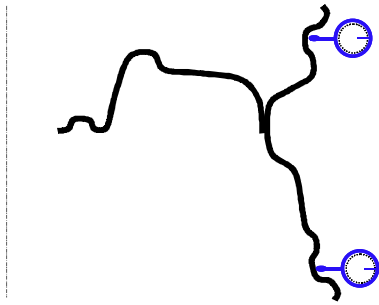


Figura 4 Esquema para a medir a oscilação radial

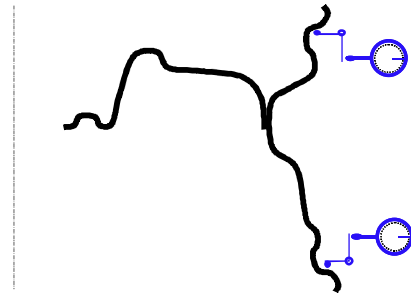


Figura 5 Esquema para a medir a oscilação axial

Após o posicionamento dos relógios comparadores, a roda é rotacionada manualmente ao redor de seu eixo e é verificada a variação apresentada pelos relógios comparadores e se a mesma esta dentro da tolerância definida em projeto.

### 3. TRABALHO DESENVOLVIDO

O trabalho consiste no:

- desenvolvimento do ambiente de trabalho;
- desenvolvimento do calibre para o sistema;
- desenvolvimento do procedimento para medida de oscilação da roda.

#### 3.1. Ambiente de Trabalho

Para o trabalho foi desenvolvido o ambiente de trabalho, o qual consiste em:

- sistema de fixação da roda;
- sistema de iluminação;
- ambiente de trabalho.

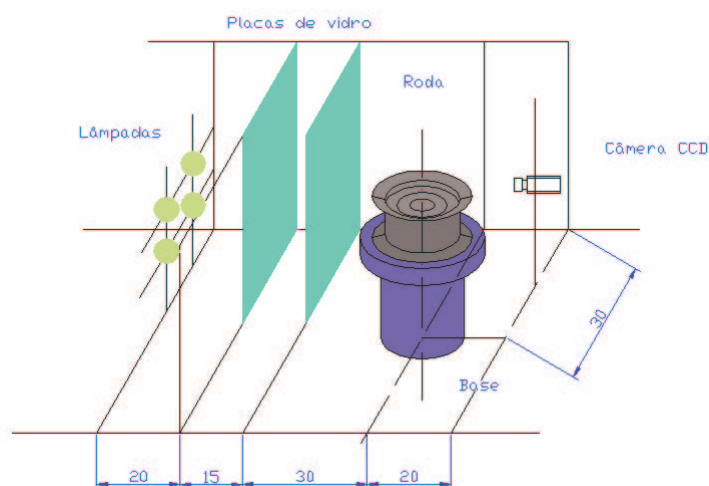


Figura 6. Modelo do projeto

#### Sistema de Fixação da Roda

O sistema de fixação é composto de uma base com um eixo rotacional, que apresenta um pino cônico central, o qual com o auxílio de uma pinça expansiva centraliza a roda, Fig (7).

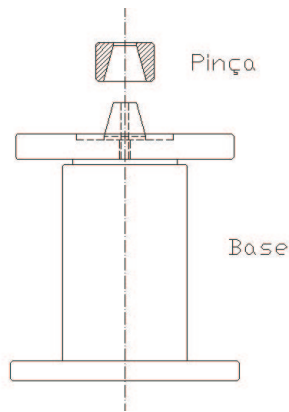


Figura 7. Sistema de fixação da roda

### Sistema de Iluminação

Para este trabalho foi utilizada a iluminação de fundo, pois é o sistema mais indicado para se identificar o contorno de peças, Awcock (1995).

### 3.2. Calibre

Para o desenvolvimento do projeto foi necessário o desenvolvimento de um sistema de aferição.

O calibre consiste de um dispositivo com um furo central guia, Fig. (8), pelo qual é centralizado, do mesmo modo que a roda, na base de fixação.

As referências para calibrar o sistema são dadas pelas dimensões L1, L2, H1 e H2, cujas medidas são apresentadas na Tab. (2).

O método de calibração do sistema, utilizando-se as referências apresentadas, é demonstrado posteriormente.

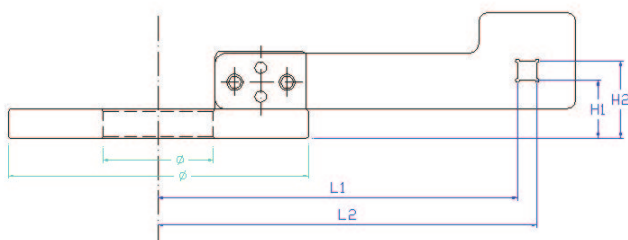


Figura 8. Calibre

Tabela 2. Dados do Calibre

parâmetros	Valor [mm]
L1	$185.536 \pm 0.001$
L2	$195.481 \pm 0.001$
H1	$29.941 \pm 0.001$
H2	$39.992 \pm 0.001$

### 3.3. Sistema de alimentação e extração da roda

O modelo do sistema de alimentação e extração, desenvolvido e simulado em computador é apresentado, como ilustração, nas Fig. (9-10).

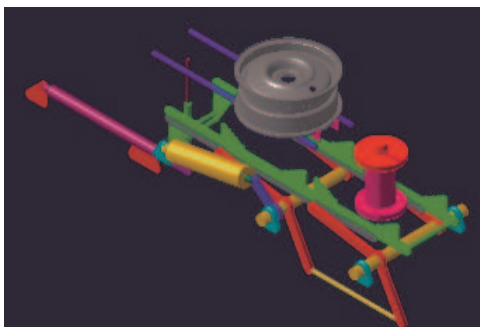


Figura 9. Sistema de alimentação e extração

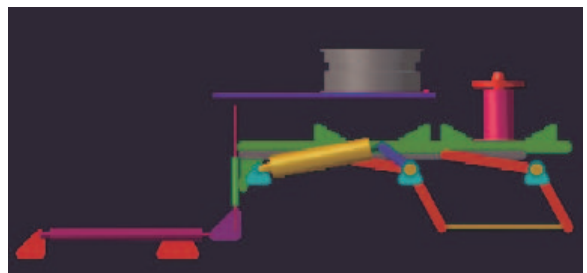


Figura 10. Sistema de alimentação e extração (vista lateral)

## 4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

O método proposto, com a utilização de recursos de visão computacional, apresenta as seguintes etapas:

- calibrar o sistema;
- realizar as medidas de oscilação.

### 4.1. Calibração do Sistema

Para calibrar o sistema foi desenvolvido o calibre com as dimensões apresentadas no item 3.2.

O procedimento de calibração se baseia em:

1. posicionar e fixar o calibre na base de fixação;
2. capturar a imagem do calibre;
3. detectar a borda do calibre na imagem;
4. obter as retas  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$ , apresentadas na Fig. (8);
5. obter os pontos de intersecção (pt1, pt2, pt3, pt4), apresentadas na Fig. (13);
6. obter o ponto de referência ptm.

Para detectar a borda do calibre, pode-se empregar o algoritmo de Sobel.

Para a obtenção da reta, emprega-se a transformada de Hough.

A transformada de Hough visa a modelagem da reta da seguinte forma:

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (1)$$

onde:

$\theta$  - é o ângulo de inclinação normal a reta

$\rho$  - é a distância da reta ao ponto de referência

A utilização da transformada de Hough, apresentado por Duda (1972), prevê a análise de todos os pontos da borda, através da Eq. (1), aonde é variado o  $\theta$  (de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$  com um passo específico) e obtido o valor correspondente de  $\rho$ . A reta é definida pela maior ocorrência do par  $(\theta, \rho)$  dentro de uma tolerância definida.

A forma apresentada acima requer um processamento, que para o problema em questão pode ser reduzido drasticamente.

Como a detecção de bordas consiste na variação da intensidade dos tons de cinza dos pixel, ao se empregar o algoritmo de Sobel, é obtido a direção da borda para cada pixel detectado como sendo borda. Portanto basta selecionarmos os pixels que apresentem a direção da borda desejada. Para o caso de existir retas diferentes com o mesmo ângulo, basta avaliar a distância dos pontos definidos, selecionando os que apresentarem valores próximos.

Ao se realizar a seleção dos pixels pelo método apresentado acima, os pixels apresentam valores de  $\theta$  e  $\rho$  aproximados, não definindo dessa forma a reta. Este problema pode ser minimizado ajustando-se uma reta através do método dos mínimos quadrados aos pixels selecionados. Desta forma, é possível ajustar uma reta rapidamente, como apresentado na Fig. (12).

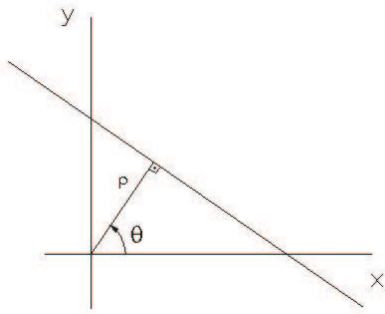


Figura 11. Modelagem da reta para empregar a transformada de Hough

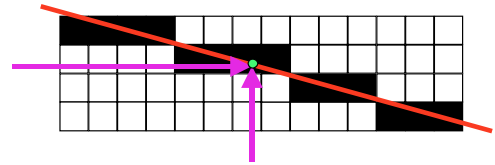


Figura 12. Representação de borda aonde foi ajustado uma reta

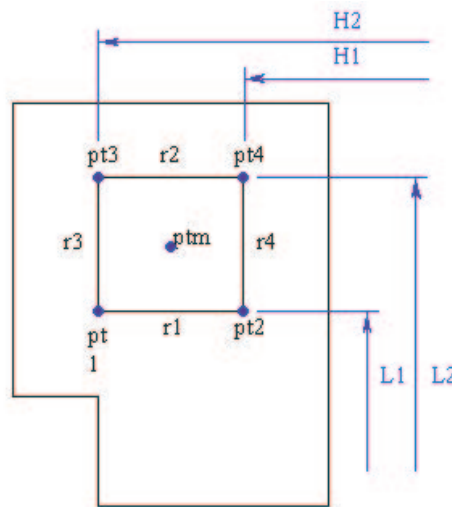


Figura 13. Pontos e retas de referência do calibre

Os pontos são obtidos através da intersecção das retas. E o ponto de referência,  $ptm$ , pela localização média dos outros quatro pontos.

A inclinação da imagem é obtida pela média da inclinação das retas, visto que é garantido o paralelismo e a perpendicularidade das mesmas.

A escala é obtida através da distância entre as retas, corrigidas pela inclinação.

#### 4.2. Medida da Oscilação da Roda

Uma vez calibrado o sistema é realizada a medida da oscilação da roda. Os passos podem ser definidos como:

1. posicionar e fixar a roda na base de fixação;
2. capturar a imagem da roda;
3. detectar a borda da roda;
4. detectar das retas de interesse (reta do assento do pneu e a reta lateral da aba do aro)
5. obter a característica de interesse (posição do ponto para medir a oscilação)
6. avançar um passo de rotação na roda e repetir o procedimento até completar  $360^\circ$ .

A obtenção da borda é realizada com o emprego do algoritmo de Canny (1986). A detecção e obtenção das retas procedem de maneira semelhante à apresentada para calibrar o sistema, corrigindo-se o ângulo de inclinação devido a inclinação da imagem.

Os pontos para a leitura da oscilação são obtidos através da intersecção entre as retas do assento do pneu e a retal lateral a aba do aro, uma vez uma, outra a outra compensada de 8 [mm].

## 5. RESULTADOS

As Fig. (14-15), mostram o calibre sendo empregado para aferir o sistema.



Figura 14. Identificação das bordas do calibre

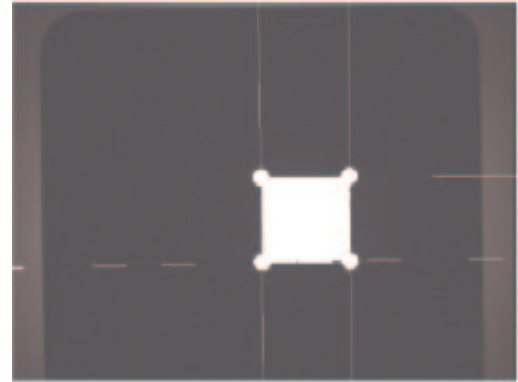


Figura 15. Detecção das retas de interesse

Tabela 3. Fatores de correção

	Descrição	Valor	unidade
Dox	distância do ptm da base do disco	34.9665	mm
Pox	pixel correspondente ao ptm em "X"	447.1919	pixel
dx	valor correspondente a mm/pixel em "X"	0.0717	mm/pixel
Doy	distância do ptm do centro da roda	190.5085	mm
Poy	pixel correspondente ao ptm em "Y"	330.1719	pixel
dy	valor correspondente a mm/pixel em "Y"	0.0764	mm/pixel
ang	ângulo de inclinação da imagem	0.0107	rad
Px	coordenada X do pixel (imagem)		pixel
Py	coordenada Y do pixel (imagem)		pixel

As Eq. (2-3) apresentam o cálculo para a obtenção do valor correspondente do pixel da imagem ao sistema métrico para o problema em específico.

$$Dx(Px) = Dox - (Px - Pox) * dx; [mm] \quad (2)$$

$$Dy(Py) = Doy - (Py - Poy) * dy; [mm] \quad (3)$$

As Fig. (13-16) ilustram o procedimento para a obtenção da oscilação da roda.

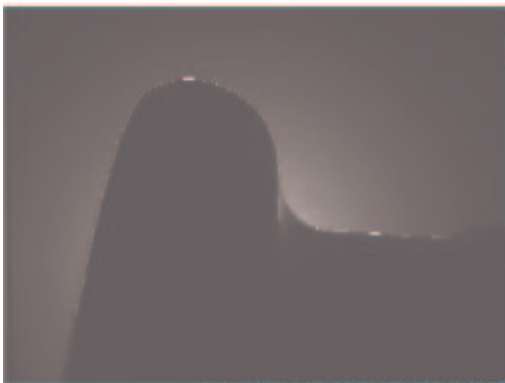


Figura 16. Detecção da borda da roda

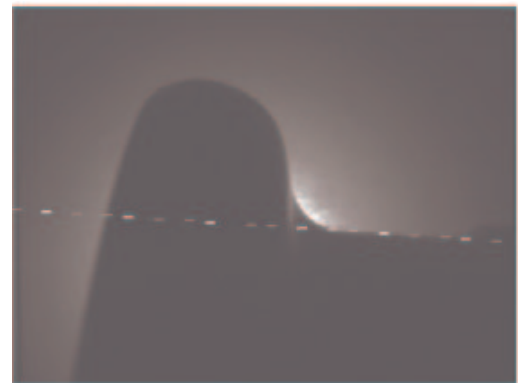


Figura 17. Ajuste da reta ao assento do pneu

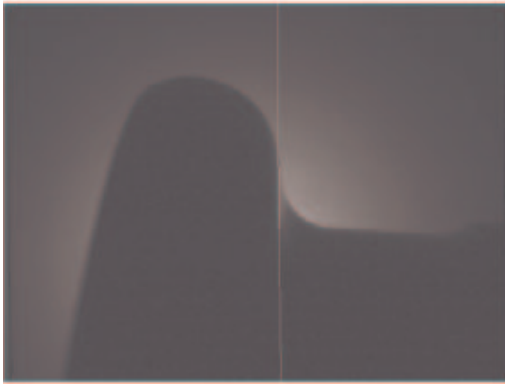


Figura 18. Ajuste da reta a lateral da aba do aro

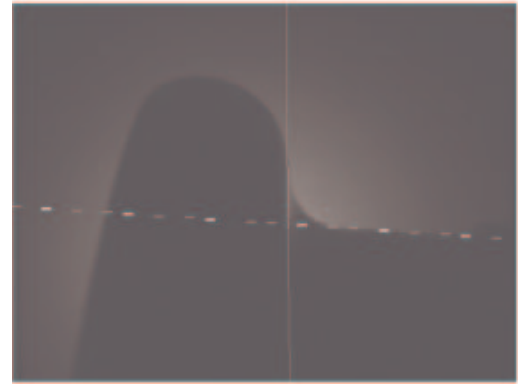


Figura 19. Interseção das retas

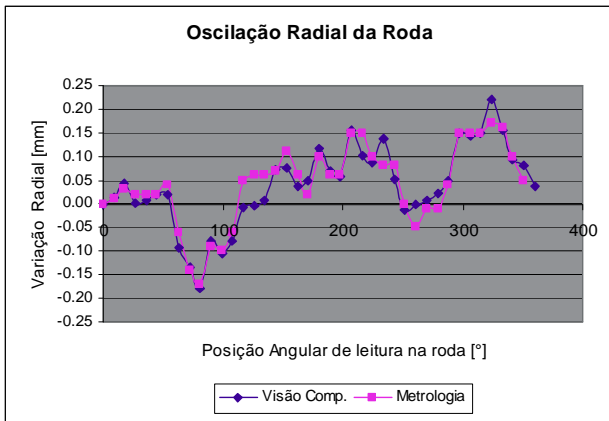


Figura 20. Oscilação radial da roda

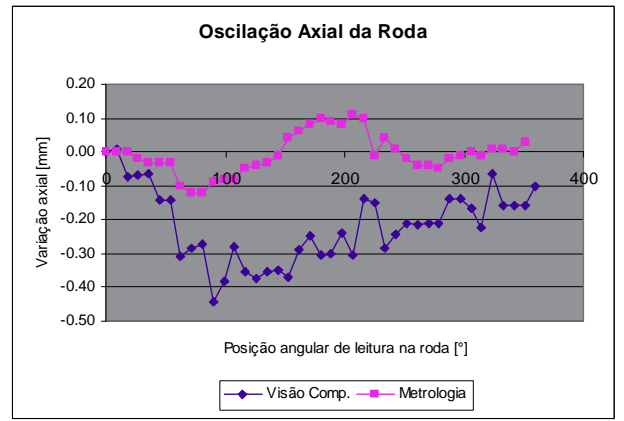


Figura 21. Oscilação Axial da Roda

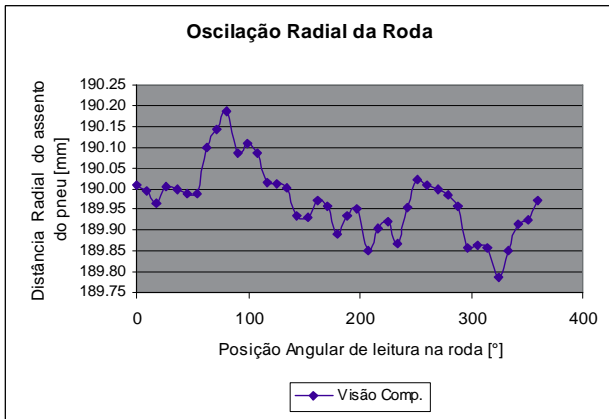


Figura 22. Distância radial do assento do pneu

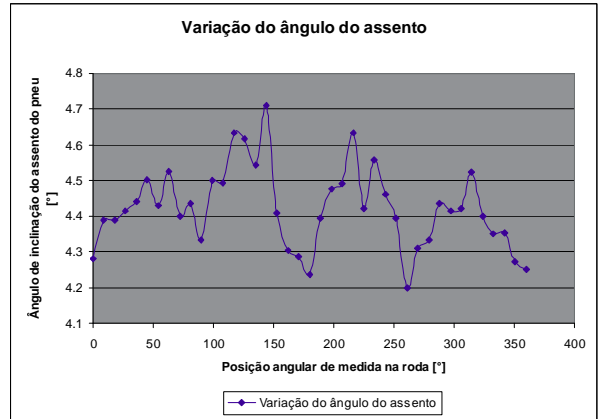


Figura 23. Inclinação do assento do pneu



## 6. COMENTÁRIOS

O método proposto apresenta bons resultados quando o objeto, no caso a roda, apresenta características bem definidas, como no caso do assento do pneu, região com uma linha bem definida. Neste caso existe uma grande correlação entre os resultados obtidos pelo método proposto e o medido em laboratório, Fig. (20).

Para se obter o valor da oscilação axial da roda, foi buscado simplificar o modelo e identificar uma reta na parte lateral da aba do aro, no entanto este procedimento não apresentou bons resultados, Fig. (21). Tal fato foi devido à pequena região que define uma reta. No entanto o procedimento pode ser testado com o emprego de outras formas geométricas, como por exemplo, arcos, Ballard (1980), o que pode vir a apresentar melhores resultados.

A utilização da direção da borda obtida, ainda no processo identificação da borda, auxilia na etapa de detecção da curva que forma o objeto (transformada de Hough), reduzindo o tempo de processamento, assim como o ajuste da curva aos pontos obtidos utilizando o método dos mínimos quadrados.

O método proposto permite uma análise mais detalhada do produto, apresentando a distância radial dos pontos medidos do assento do pneu, Fig. (22), o que o processo convencional não apresenta. Desta forma é possível o controle do diâmetro da roda.

Através dos resultados obtidos é possível o controle da uniformidade do aro, pois é registrado o raio da roda em diversas posições angulares.

Outro resultado obtido pelo método proposto é a inclinação do assento do pneu. Neste caso foi obtida a variação da inclinação do assento do pneu em todo o contorno da roda, Fig. (23), o que permite a verificação da variação formando 4 picos e 4 vales. A avaliação deste resultado direciona que a interferência de montagem e a solda interferem na inclinação do raio do assento, pois aonde se localiza a solda houve a ocorrência dos “vales”, ou seja, a redução do ângulo. O ângulo especificado do assento é  $5 \pm 1$  [°].

Com a utilização de recursos de visão computacional, pode se obter mais informação sobre um processo e se torna mais flexível devido o fato de uma ferramenta poder apresentar diversas informações sobre o produto.

O método proposto pode ser empregado assim que resolvido a divergência obtida na leitura da oscilação axial. Destaca-se ainda que este projeto inclui o sistema de alimentação e extração automática da roda, o que o processo atual não apresenta.

## 7. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio dos colegas da ArvinMeritor por viabilizar parte dos recursos para a execução do trabalho, Flávio Rodrigues, Zeferino Neto, Nelson Gossler, Reinaldo Toledo.

## 8. REFERÊNCIAS

- ALAPA, 2001, "ALAPA- Associação Latino Americana de Pneus e Aros – 2001".
- Awcock, G. L., Thomas, R., 1995, "Applied Image Processing", MACMILLAN.
- Ballard, D. H., 1981, "Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes", Pattern Recognition, vol. 13, n° 2, pp. 111-122.
- Barnard, S. T., Thompson, W. B., 1980, "Disparity Analysis of Images", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-2, n° 4, July, pp. 333-340.
- British Standards Institution, 1982, "Introduction to geometrical tolerancing", PD7304:1982, pp. 23-24.
- Canny, J., 1986, "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-8, n° 6, November, pp. 679-698.
- Chen J. S., Medioni, G., 1989, "IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence", vol. 11, n° 2, February, pp. 191-198.
- Duda, R. O., Hart, P. E., 1972, "Use of the Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures", Communications of the ACM, vol. 15, n° 1, January, pp. 11-15.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2000, "Processamento de Imagens Digitais", Ed. Edgard Blücher.
- Parker, J. R., 1996, "Algorithms for Image Processing and Computer Vision", John Wiley & Sons, Inc.
- Pratt, W. K., 1991, "Digital Image Processing", John Wiley & Sons, Inc.

## MECHATRONIC SYSTEM TO MEASURE RUN-OUT OF THE WHEELS USING COMPUTER VISION

### **Fernando Toshihiko Mitsuyassu**

Product Engineering  
ArvinMeritor do Brasil – Divisão LVS  
Limeira – SP - Brazil  
e-mail: fernando.mitsuyassu@arvinmeritor.com

### **Luís Gonzaga Tabasso**

Dept. Mechanical Engineering  
Technological Institute of Aeronautics  
São José dos Campos – SP - Brazil  
e-mail: gonzaga@mec.ita.cta.br

***Abstract.** The automotive wheels are one of the most important components of an automobile and their dimensions must be highly controlled. The current process has been using dial gauges to measure the wheels' run-out. It requires a manual set up and the quality assurance system relies on the operator's ability to manipulate and read the dial gauges. For this problem, it is proposed a mechatronic system, using computer vision resources, to load and unload wheels it self and to measure the run-out.*

***Keywords.** Mechatronic, Computer Vision, Wheel, Run-out, Measuring.*