

REDESENHO DE RODAS ESTAMPADAS EM AÇO

Rodrigo Hudson Watfe

rodrigo.watfe@poli.usp.br

Resumo. *Objetiva-se com este trabalho a redução do peso total das rodas estampadas em aço atualmente utilizadas pela General Motors do Brasil, a partir da elaboração de modificações de projeto que mantenham os padrões de qualidade e segurança. O objetivo será alcançado através de redesenho que envolverá avaliações do projeto, do material e da espessura dessas rodas, justificado por uma Análise de Viabilidade seguida pela elaboração de propostas. Como resultado final, foram obtidas alternativas para o atendimento da necessidade, tais como o projeto de rodas no estilo Kühn, substituição do material por aço duplex e reavaliação dos critérios de projeto. Uma sugestão de seqüência do trabalho é o aprofundamento das análises de viabilidade econômica a fim de selecionar essas alternativas para a elaboração do Projeto Básico.*

Palavras chave: rodas, aço, estampagem.

1. Introdução

O cenário mundial do mercado automobilístico mostra poucas oportunidades de crescimento do consumo de novos veículos nos pólos tradicionais, como Estados Unidos, Europa e Japão. Esses mercados estão saturados, e a alternativa para o crescimento reside nos mercados emergentes, como América Latina e Ásia, onde o alto número de habitantes por veículo demonstra o potencial de absorção dessas economias, como se pode notar na Tab. 1.

Tabela 1. Relação habitantes/veículo em 2003 (fonte: ANFAVEA).

País	Habitantes/veículo
Estados Unidos	1,3
Itália	1,5
Austrália	1,6
Japão	1,7
Alemanha	1,7
França	1,7
Canadá	1,7
Espanha	1,7
Reino Unido	1,8
Suécia	2,0
Coréia do Sul	3,3
México	5,5
Argentina	5,5
Brasil	8,4
China	~200

A indústria automotiva brasileira não é a primeira opção para os investimentos internacionais, ficando nesse quesito atrás de, por exemplo, China e México. Ainda assim, a concorrência para as indústrias nacionais vem aumentando drasticamente nos últimos anos. Entre 1996 e 2002, foram inauguradas 22 novas fábricas de veículos automotores no Brasil.

Nesse contexto, na busca por crescimento e, em alguns casos, até por sobrevivência, as indústrias automotivas nacionais têm investido seus esforços em programas de melhoria contínua e redução de custos, visando a dois resultados essenciais à competitividade: agregação de valor a seus produtos, para aumentar a qualidade percebida dos mesmos, e redução dos custos estruturais, de materiais e de fornecedores, para aumentar a lucratividade.

O presente trabalho foi motivado pelo cenário que acaba de ser citado, na busca incessante por competitividade através do aumento de qualidade e/ou redução de custo dos produtos, no caso, rodas estampadas em aço.

2. Metodologia

Foi utilizada neste trabalho a metodologia de elaboração de um Estudo de Viabilidade seguido pela elaboração de propostas. Segundo Kaminski (2000), o Estudo de Viabilidade contempla as seguintes etapas, em ordem cronológica: estabelecimento da necessidade, especificação técnica da necessidade, síntese de soluções e análises de viabilidade.

Por tratar-se de um projeto de melhoria de um produto já existente, tomou-se como referência limitadora as características das rodas atualmente utilizadas pela General Motors do Brasil. Esse procedimento garantiria que o produto final deste projeto seria, de alguma forma, propostamente melhor do que o atual em produção, ou então este projeto teria como subproduto a ratificação das rodas atualmente em produção.

3. Estabelecimento da necessidade

“As soluções para o problema técnico da transformação do atrito de arraste em atrito de rolamento, para facilitar o deslocamento de objetos pesados, tiveram uma evolução histórica que pode ser sintetizada em dois momentos: o da utilização de elementos cilíndricos (como troncos de árvore), para sobre eles fazer deslizar os objetos, e o da descoberta da roda” (ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL, 1974, p.1721).

“O que basicamente distingue a roda do sistema de elementos cilíndricos, do ponto de vista mecânico, é o eixo: este é fixo, ou seja, não gira, permanecendo solidário ao corpo que se pretende deslocar, e suporta todo o peso, transferindo-o ao terreno por meio da parte móvel da roda, isto é, o disco ou aro. A função dessa ‘máquina’ é transferir o atrito de arraste da zona de contato com o terreno (onde surge então o atrito de rolamento) para uma zona bastante menor, representada pelo eixo, onde se tem velocidades relativas muito menores, pois são proporcionais ao raio da roda. Além disso, no eixo fica bem mais fácil obter as condições para reduzir o atrito de arraste: na pequena área de contato entre o eixo e sua sede, a adoção de superfícies duras e lisas e, sobretudo, a possibilidade de lubrificação determinam que a força necessária para fazer girar a roda seja extremamente menor que a exigida para fazer deslizar a roda sobre o terreno” (ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL, 1974, p.1721).

“Desde suas primeiras aplicações em veículos, a roda sofreu uma evolução predominantemente estilística, em obediência aos cânones estéticos das várias épocas. Do ponto de vista estrutural, permaneceu por longo tempo inalterada: a roda de madeira com raios, muitas vezes com a superfície de rolamento e o cubo reforçados por aros metálicos” (ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL, 1974, p.1723).

“No início da década de 10 introduziram-se as rodas de raios metálicos, como a da Fig. 1 que, por serem construídas em duas partes (roda propriamente dita e cubo fixo), permitiam rápida substituição, reduzindo assim os incômodos devidos a furos nos pneus” (ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL, 1974, p.1723).



Figura 1. Roda com aros de metal coberta de borracha.

“Foi de fundamental importância o aparecimento, em 1914, das primeiras rodas a disco, construídas por Michelin na França. Em razão do menor preço, suplantaram rapidamente as rodas de raios, mas permaneceram prerrogativa dos carros esportivos. A solução de Michelin revelou-se totalmente válida, a ponto de não mais ser abandonada; mesmo as rodas atuais consistem num aro metálico, de forma cônica para melhor suportar as solicitações transversais, soldado ou aparafusado na sede. A Fig. 2 mostra uma roda a disco” (ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL, 1974, p.1723).



Figura 2. Roda com disco de metal de 1957.

“As rodas em liga leve, exemplificadas na Fig. 3, apareceram pela primeira vez no Bugatti tipo 35 que disputou o GP da França de 1924; a inovação suscitou interesse pelas indiscutíveis vantagens garantidas pelo menor peso (redução

do momento de inércia e das massas não suspensas), mas não teve desenvolvimento imediato, por causa do alto custo e da relativa fragilidade” (ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL, 1974, p.1723).



Figura 3. Roda em liga leve da década de 70.

As modernas rodas a disco, com a da Fig. 4, possuem um aro, com canal soldado a um disco estampado, com perfil próprio para aumentar a rigidez e a resistência às solicitações transversais. O aro, em chapa de aço extra-doce, tem espessura de 3 a 5 milímetros; sua parte central é ondulada, com finalidade de aumentar a resistência e impedir um contato completo entre disco e aro. Isto permite uma reação elástica do disco sobre os parafusos de fixação (em número variável de três a cinco) para compensar um eventual afrouxamento causado pelas flexões e vibrações da estrutura. Muitas vezes o aro apresenta uma série de furos, cuja função, além de determinar certa redução do peso, é criar durante a rotação um fluxo de ar axial para a refrigeração dos freios. Trata-se do tipo mais difundido de roda, por suas qualidades de resistência, durabilidade e baixo custo.



Figura 4. Roda a disco atual.

“No projeto de um veículo, um dos problemas a enfrentar é o do diâmetro das rodas. No passado as rodas de automóveis tinham em geral grandes diâmetros, o que servia para reduzir a sensibilidade às irregularidades das péssimas estradas de então. A melhoria geral do estado das estradas levou a uma redução do diâmetro das rodas, o que acarreta consideráveis vantagens: permite reduzir o peso das rodas e, portanto, o valor das massas não suspensas. Isso favorece o comportamento na estrada, a redução do momento de inércia (permitindo acelerações maiores com o mesmo torque motriz), a obtenção de relações de transmissão (engrenagens do câmbio e da redução final) e de árvores mais leves, isto em virtude da menor relação de redução necessária entre a velocidade de rotação do motor e das rodas. A redução de diâmetro tem limites na possibilidade de carga dos pneumáticos e nas dimensões dos freios, quando estes são colocados diretamente nas rodas. A esse propósito, vale lembrar como a passagem dos grandes freios a tambor aos bem menores e mais eficientes freios a disco permitiu notável redução do diâmetro do aro. Além disso, as rodas menores determinam certa vantagem quanto ao custo do pneu e à menor sensibilidade aos desequilíbrios tanto estáticos quanto dinâmicos. Mas é importante notar, por outro lado, que o pneu de menor diâmetro, por cumprir maior número de rotações num mesmo percurso, está sujeito a maior desgaste” (ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL, 1974, p.1724).

“O material mais comumente empregado para a produção dos aros é o aço que, a partir de fitas de determinada espessura e largura, é enrolado e cortado no necessário comprimento, soldado, submetido a diversas operações até ficar com o perfil desejado, acabado e finalmente furado no lugar da válvula” (ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL, 1974, p.1724).

O disco de roda possui o formato de um prato flangeado e, por sua vez, não é normatizado, nem segue especificações de qualquer instituição. Suas características são determinadas no projeto, de maneira que atenda às condições de serviço. Uma roda deve possuir resistência suficiente para suportar as cargas impostas sobre ela, sejam axiais ou radiais. Além disso, deve ser resistente a danos acidentais e estruturalmente rígida o suficiente para minimizar a flexão quando o veículo realizar uma curva.

Segundo Bosch (2005), os critérios de projeto para rodas de automóveis de passageiros incluem alta resistência estrutural, resfriamento eficiente dos freios, fixação confiável, excentricidade mínima, pouca necessidade de espaço,

boa proteção anticorrosiva, pouco peso, baixo custo, facilidade para montagem do pneu, bom assentamento do pneu, estética atraente e baixo coeficiente de arrasto aerodinâmico.

Quanto às características específicas das rodas em aço estampado, devido a seus parâmetros funcionais e processos de fabricação, o material escolhido deve principalmente possuir, descrito de forma apenas qualitativa, alta resistência à fadiga, boa estampabilidade, boa soldabilidade e alta resistência à corrosão. Além disso, essas propriedades não podem sofrer grandes alterações causadas por altas temperaturas.

As rodas em aço estampado utilizadas pela General Motors do Brasil são fornecidas por duas empresas: Arvin Meritor e Borlem. Para este trabalho, escolheu-se como referência a roda 5½ J x 14, devido a sua larga utilização nos veículos da General Motors do Brasil, modelos Celta, Prisma, Corsa e Meriva, além de também ser utilizada como roda sobressalente em outros veículos.

3.1. Avaliação competitiva do mercado

Para uma análise do posicionamento das rodas utilizadas pela General Motors do Brasil em relação a sua massa, fez-se uma avaliação dos produtos similares oferecidos no mercado brasileiro e de alguns dos chamados mercados emergentes, como Índia e leste europeu. A oferta dessas rodas estampadas em aço está vinculada ao fabricante e ao modelo do veículo, sendo portanto discriminada de forma correspondente. Os dados estão contidos na Tab. 2.

Tabela 2. Fabricante, modelo e ano do veículo, tipo de pneu e roda e massa da roda estampada dos veículos avaliados.

Fabricante	Modelo	Ano	Pneu	Roda	Massa (kg)
Chevrolet	Corsa Sedan 1.0	2003	165/70 R14	5,5 x 14	7,70
Dacia	Logan 1.6L	2005	R15		7,70
FIAT	Palio ELX 1.0	2004	165/70 R13	5 x 13	5,25
Ford	Fiesta 1.0 Supercharger	2003	175/65 R14	5,5J x 14	7,15
Peugeot	206 1.0 Soleil	2001	175/65 R14		7,50
Skoda	Fabia Comfort 1.4	2001	186/60 R14		7,30
Tata	Indigo 1.4	2004	175/65 R14		7,45
VW	Fox Flex 1.0	2004	175/65 R14	5 x 14	6,70
VW	Polo Sedan 1.6	2003	185/60 R14	6J x 14	7,50

Os dados referentes à massa das rodas podem ser melhor comparados através do gráfico da Fig. 5, pelo qual nota-se que o veículo Chevrolet Corsa da General Motors do Brasil possui as rodas mais pesadas dentre todos os veículos com rodas de aro 14 polegadas avaliados.

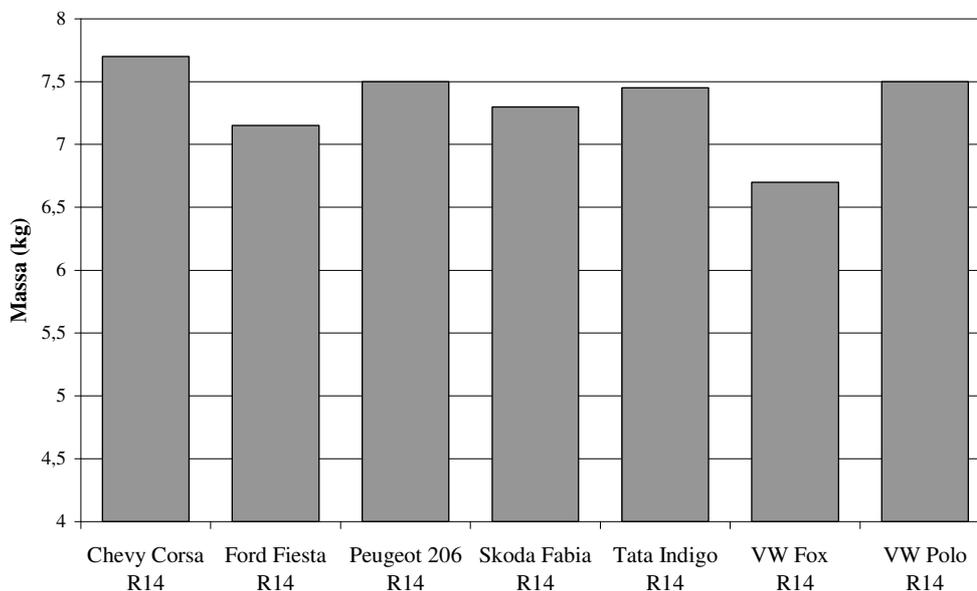


Figura 5. Comparação das massas das rodas aro 14 dos veículos avaliados

Outra comparação que deve ser feita é entre as rodas dos veículos Chevrolet Corsa e Dacia Logan, visto que esta, mesmo com aro de 15 polegadas, tem a mesma massa que aquela, de aro 14 polegadas.

4. Especificação técnica da necessidade

As especificações técnicas do produto são as das rodas atualmente em uso pela General Motors do Brasil, que por questões de confidencialidade não serão divulgadas.

Entretanto, existem especificações que podem ser facilmente deduzidas, como a carga estática que a roda deve suportar, equivalente a metade do peso de um veículo. Considerando-se um veículo de uma tonelada, então a carga estática vertical à qual a roda deverá suportar está em torno de 500 quilos.

Existem especificações funcionais e construtivas que também podem ser deduzidas, como critérios de tolerância quanto à montagem do disco e do aro, posição e dimensão dos furos, desbalanceamento máximo da roda e rugosidade da peça.

Para finalizar, existem também especificações que podem ser tanto de caráter interno da empresa quanto normativo, por exemplo, os materiais passíveis de utilização na própria peça e no seu processo de fabricação, quer sejam controlados ou recicláveis.

5. Síntese de soluções

Chegou-se a uma lista de possíveis alternativas que deverão ser analisadas para verificação quanto à sua viabilidade e capacidade de atendimento da necessidade. Uma alternativa não exclui a outra, elas podem ser complementares, e um projeto básico pode ser elaborado a partir da conjunção de algumas dessas alternativas, se não de todas. As ferramentas decisivas quanto a isto são as análises de viabilidade.

As alternativas que merecem um estudo mais aprofundado são a redefinição da geometria das rodas atuais, o desenvolvimento de rodas de aço no estilo Kühnl e a substituição do material por um aço duplex (*dual-phase steel*).

A redefinição da geometria das rodas atuais visa a utilização de modernas técnicas de CAD/CAE (*Computer Aided Design/ Computer Aided Engineering*) para realizar estudos sobre o desenho das rodas atuais buscando redução de peso através de análises de posicionamento, tamanho e forma de furos e superfícies da roda. A geometria resultante deverá ser avaliada quanto a sua capacidade estrutural. Para tanto deverá ser utilizado um Método de Elementos Finitos.

As rodas no estilo Kühnl utilizam um sistema de raios de aço delgados, porém profundos, para formar a estrutura entre o cubo e o aro, permitindo adequada resistência aos esforços ao mesmo tempo que provendo redução no peso e desenho vantajoso.

Os aços duplex permitem menores peso e espessura devido a suas características: alta resistência à fadiga com boa estampabilidade, já que a tensão limite de resistência é alta e os valores dos limites de escoamento e de resistência são distantes, permitindo que a peça sofra estampagem profunda sem romper-se.

6. Análise de viabilidade

As soluções propostas foram analisadas quanto à possibilidade de sua execução, com a finalidade de se determinar quais dessas soluções poderiam ser aprofundadas através da elaboração de um projeto.

As soluções foram analisadas quanto a sua viabilidade técnico-legal, econômica e ambiental.

6.1. Viabilidade técnico-legal

As rodas no estilo Kühnl foram patenteadas pela empresa Hayes Lemmerz International Inc., líder no mercado mundial de rodas automotivas e proprietária no Brasil da empresa Borlem. As patentes estão registradas no *United States Patent and Trademark Office* (USPTO) sob registro 6042194 de 28 de março de 2000 e na *World Intellectual Property Organization* (WIPO) sob registro WO/2003/011614 de 13 de fevereiro de 2003. Essas patentes praticamente inviabilizam o projeto de uma roda com o mesmo conceito, porém ainda há a possibilidade de negociação para o fornecimento dessas rodas pela Hayes Lemmerz através de contrato.

Quanto à análise técnica, o fato de as rodas da Hayes Lemmerz já estarem sendo utilizadas em veículos de produção, inclusive alguns da General Motors fora do Brasil, comprova que esta alternativa é tecnicamente viável, levando-se em conta a homologação dos produtos.

O aço duplex (*dual phase*) já vem sendo utilizado há algum tempo na fabricação de rodas automotivas no continente europeu, o que atesta a viabilidade técnica desta solução. Esse aço é produzido também no Brasil, e seu fornecimento precisaria ser contratado frente a uma siderúrgica.

A alteração da geometria das rodas é tecnicamente viável visto que a General Motors do Brasil possui todas as ferramentas para a confecção desse projeto, sejam elas os programas de CAD/CAE/CAM (*computer aided design, engineering and manufacturing*) e Análise por Método dos Elementos Finitos, além de usuários capacitados. A produção do novo modelo de roda deverá ser contratada junto aos fornecedores.

6.2. Viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica das três alternativas de solução torna-se bastante complexa por se tratar de um produto totalmente manufaturado por fornecedores, sendo que os serviços destes deverão ser contratados após negociação.

A solução de substituição do material por aço duplex (*dual phase*) pode apresentar uma vantagem econômica frente às outras alternativas, visto que pela preservação do desenho atual, existe a possibilidade de que as mesmas matrizes de estampagem continuem sendo utilizadas, poupando um investimento em torno de 500 mil dólares.

O aço duplex é mais caro que os aços atualmente em uso na manufatura das rodas estampadas, como o HSLA (*high-strength low-alloy*). Porém, devido a sua maior resistência à fadiga e conseqüente possibilidade de menores espessuras de chapa, utilizar-se-ia menos material, o que influiria positivamente na redução de custo. Um desafio quanto à aplicação do aço duplex no Brasil ainda é a disponibilidade. Sabe-se que a siderúrgica Usiminas produz aços *dual phase*, mas o volume da produção pode não ser suficiente para mais esta aplicação. Esse problema precisaria ser verificado e acertado junto ao fornecedor.

A viabilidade econômica da alternativa de redesenho da geometria das rodas passa pelo resultado da tentativa de redução de material. Como já foi dito, o investimento para um novo conjunto de matrizes de estampagem está por volta de 500 mil dólares. Como o volume de produção gira em torno de mais de um milhão de unidades anuais, seria necessário um desconto de 50 centavos por unidade a fim de retornar o investimento em apenas um ano.

A alternativa de adoção das rodas Kühnl pode ser economicamente viável dependendo das condições do contrato que precisaria ser firmado com a Hayes Lemmerz International Inc. O preço variaria conforme a decisão de produzir as rodas no Brasil ou importá-las e com o volume da produção. Uma vantagem desta alternativa é a possibilidade de substituição de alguns modelos de rodas de alumínio, também, através de uma capa plástica com fins estéticos, que pode ser pintada ou até cromada.

6.3. Viabilidade ambiental

As soluções propostas que envolvem o desenvolvimento de uma roda no estilo Kühnl ou a simples redefinição da geometria das rodas atuais, devido ao fato de utilizarem os mesmos materiais e processos de produção atualmente homologados, não apresentam problemas quanto a questões ambientais, podendo ser consideradas ambientalmente viáveis.

De maneira similar, a proposta de substituição do material por aço duplex também não enfrentaria problemas relativos à conservação do meio ambiente, visto que a composição e os processos de fabricação desse aço são destituídos de elementos que infringem leis ambientais ou de saúde pública.

7. Elaboração das propostas

Foram elaboradas propostas a partir das alternativas de solução geradas para que, após estudos estruturais mais aprofundados, baseados no método dos elementos finitos, e análises econômicas mais completas, reforçadas por negociação com os possíveis fornecedores, seja possível a seleção da melhor alternativa ou combinação de alternativas para elaboração de um Projeto Básico. Deve-se lembrar que esses estudos não farão parte do presente trabalho.

7.1. Redefinição da geometria das rodas atuais

Para buscar uma geometria diferente que apresentasse a possibilidade de redução de massa, fez-se um *benchmarking* das atuais rodas no mercado. Uma geometria que gerou interesse foi a das rodas do veículo Dacia Logan, com um conceito diferenciado. O disco dessa roda possui mais inclinada a superfície da saliência que conecta a região dos furos dos parafusos à superfície dos furos de ventilação, fazendo com que esta última esteja quase paralela ao eixo. Um esboço dessa roda encontra-se na Fig. 6, lado a lado com o conceito aplicado às rodas convencionais.

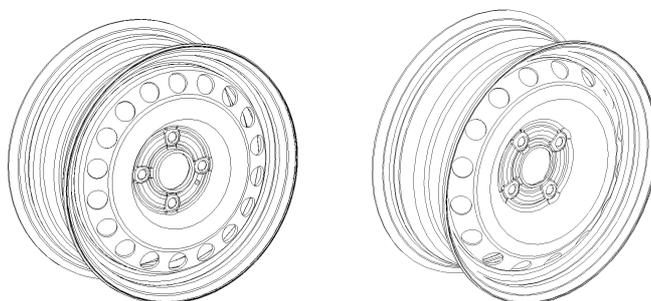


Figura 6. Esboço de roda convencional (esquerda) e com conceito diferenciado (direita)

Sabe-se que a roda aro 15 polegadas do Dacia Logan possui massa similar (7,700kg) à roda do Chevrolet Corsa.

O procedimento adotado para averiguação deste conceito diferenciado foi a construção de modelos digitais aproximados dos discos das rodas com o uso do programa de CAD (*computer aided design*) Unigraphics NX3, e com auxílio do mesmo checou-se, para uma mesma primeira espessura de chapa, no caso 2,5mm, o volume ocupado por esses discos de roda. Repetiu-se o procedimento para uma segunda espessura (3,5mm) em ambas as rodas. As seções transversais dos modelos digitais construídos estão na Fig. 7 e os resultados estão demonstrados na Tab. 3.

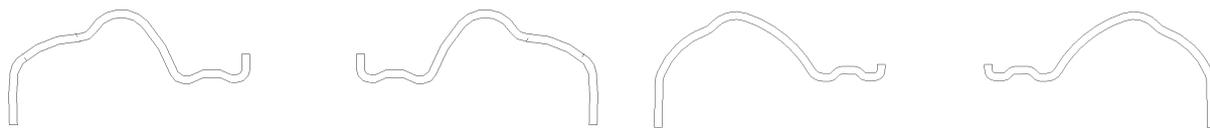


Figura 7. Seções transversais do modelo digital de roda convencional (esq.) e de roda com conceito diferenciado (dir.)

Tabela 3. Volumes obtidos para os modelos digitais com espessuras 2,5 e 3,5mm

Modelo digital da roda	Espessura	
	2,5mm	3,5mm
Convencional	Volume = $298 \times 10^3 \text{ mm}^3$	Volume = $420 \times 10^3 \text{ mm}^3$
Diferenciada	Volume = $310 \times 10^3 \text{ mm}^3$	Volume = $438 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Pode-se perceber pelos resultados obtidos que não é a forma do disco que influi para a menor massa da roda com conceito diferenciado. Sabe-se que também não é influência da forma do aro, padronizada por normas internacionais.

De fato, as rodas aro 15 polegadas do Dacia Logan, que deveriam ter mais massa que as rodas aro 14 polegadas do Chevrolet Corsa, possuem massa similar devido a menores espessuras de chapa no aro (2,3mm contra 2,7mm) e no disco (3,5mm contra 4,5mm), e não devido a sua forma (ver Fig. 8).



Figura 8. Roda do veículo Chevrolet Corsa (esq.) e Dacia Logan (dir.) e suas espessuras de chapa

Visto que as rodas do veículo Dacia Logan estão homologadas, ou seja, suportam todas as cargas e impactos a que foram propostas, as conclusões a que se chegou é que ou essas rodas são manufaturadas com um material diferente em relação às rodas do Chevrolet Corsa, talvez até aço *dual phase*, ou então os critérios de projeto das rodas do Chevrolet Corsa são mais rigorosos, levando a uma roda resistente a cargas e impactos maiores, o que acarreta mais massa.

7.2. Rodas Kühhl

Como relatado anteriormente, as rodas no estilo Kühhl foram desenvolvidas recentemente e possuem o disco baseado em um sistema de raios de aço delgados, porém profundos, capazes de gerar resistência estrutural equivalente às rodas convencionais. Este conceito de roda é patenteado pela empresa Hayes Lemmerz International Inc., proprietária no Brasil da empresa Borlem.

É esperada com esta solução uma redução de 10 a 20% no peso das rodas de aço, sendo ainda necessário o acordo do preço da unidade com o fornecedor para verificação da viabilidade econômica.

Apresenta inúmeras vantagens frente às rodas convencionais, destacando-se a possibilidade de substituição também de alguns modelos de roda de alumínio, devido a suas características estéticas e versatilidade de estilo geradas pelos raios delgados e por coberturas plásticas cuja tecnologia de acabamento e revestimento permite que as mesmas mimetizem a estética do alumínio ou do cromo (ver Fig. 9). Nos Estados Unidos, essas rodas acompanhadas da capa plástica ficam em torno de 15 dólares mais baratas que as rodas de alumínio.



Figura 9. Rodas no estilo Kühhl estampadas em aço: (1) sem cobertura; (2) com cobertura pintada da Chevrolet; (3) com cobertura pintada da Opel; (4) com cobertura cromada da Chevrolet;

Rodas no estilo Kühl estão sendo introduzidas no mercado desde 2006, inclusive em veículos da General Motors fora do Brasil, como nos modelos Chevrolet Malibu, Opel Vectra, Opel Zafira e Opel Meriva.

Outras vantagens desse tipo de roda são causadas pelo seu desenho com grandes janelas, o que auxilia a ventilação para resfriamento dos freios e possibilita maior versatilidade de estilo, pois o disco desta roda fica inteiramente escondido sob a cobertura, ao contrário das rodas convencionais.

Além disso, apresentam as mesmas vantagens que as rodas de aço convencionais quanto à diferenciação através da cobertura, o que permite reestilização a baixo custo de ferramental (modifica-se apenas a cobertura) e sem necessidade de revalidação da estrutura.

7.3. Aço duplex (dual phase steel)

O aço mais comumente empregado na fabricação de discos de roda atualmente no Brasil e na América do Norte é o HSLA (*high-strength low-alloy*), enquanto que na Europa, os aços *dual phase* já vêm sendo utilizados desde o final da década de 80 (ver Fig. 10).

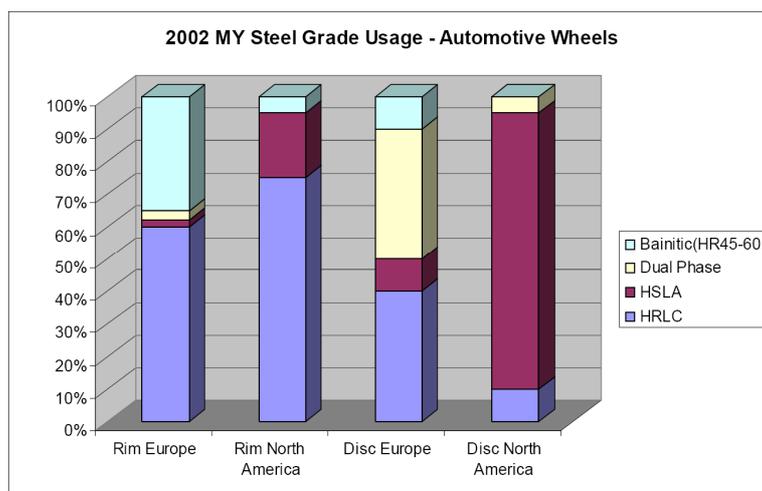


Figura 10. Aços utilizados em aros e discos de rodas automotivas nos continentes europeu e norte-americano em 2002

Como propriedades fundamentais do material para esta aplicação, deve-se citar a tensão limite de resistência, a razão entre a tensão limite de escoamento e a limite de resistência e a resistência à fadiga.

A tensão limite de resistência e a razão entre limite de escoamento e de resistência devem ser consideradas devido ao processo de estampagem profunda ao qual o material será submetido. Quanto maior o limite de resistência do material, menor será a probabilidade de ruptura da peça na estampagem, pois são possíveis maiores forças no processo antes de atingir-se o limite de resistência, a partir do qual a peça sofre estricção até a ruptura. Já a razão entre limite de escoamento e limite de resistência deve ser a menor possível, para que se tenha uma grande faixa de tensões a serem aplicadas de modo que a estampagem seja bem sucedida, o que ocorrerá caso as tensões sejam mantidas acima do limite de escoamento (para que ocorra deformação permanente) porém abaixo do limite de resistência (para que a peça não se rompa).

A resistência à fadiga deve ser considerada devido à necessidade de resistência estrutural da peça, que deverá suportar cargas e impactos quando em uso. Assim, quanto maior a resistência à fadiga, maior será a vida do produto final. Não se deve considerar aí o limite de escoamento como critério para resistência estrutural devido ao conflito com o processo de fabricação. Afinal, pela necessidade de resistência estrutural seria melhor um alto limite de escoamento, porém para a estampagem seria mais conveniente um material com baixo limite de escoamento, pois seria estampado com a aplicação de menores forças.

Os aços HSLA atualmente utilizados possuem limite de resistência mínimo em torno de 520 MPa (75ksi) e razão entre limites de escoamento e resistência entre 0,80 e 0,90.

Segundo informações do Departamento da Ciência dos Materiais e Metalurgia da Universidade de Cambridge, o aço *dual phase* é caracterizado por constituintes com grandes diferenças de dureza. Sua microestrutura consiste de 85 a 90% de ferrita poligonal, de baixa dureza, com 10 a 15% de martensita, de alta dureza, que forma ilhas regularmente dispersas na matriz de ferrita. A composição do aço *dual phase* DP600 está exemplificada na Tab. 4.

Tabela 4. Composição química do aço *dual phase* DP600 em porcentagem de massa

C	Mn	Si	P	S	Cr+Mo+B	Nb+Ti	N
max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
0,12	1,4	0,5	0,085	0,008	1,3	0,05	~0,0050

Em 1999, a Hayes Lemmerz International Inc. realizou um estudo investigativo quanto a utilização de aços *dual phase* na manufatura de rodas automotivas. Foram analisados sete fornecedores globais, sendo dois norte-americanos, dois europeus, dois asiáticos e um sul-americano (Usiminas). Os aços *dual phase* desses fornecedores foram avaliados principalmente quanto à resistência à fadiga (Fig. 11), quanto ao limite de resistência (Tab 5) e quanto à razão entre limites de escoamento e de resistência (também Tab. 5). Todos os resultados foram comparados com as mesmas propriedades do aço HSLA.

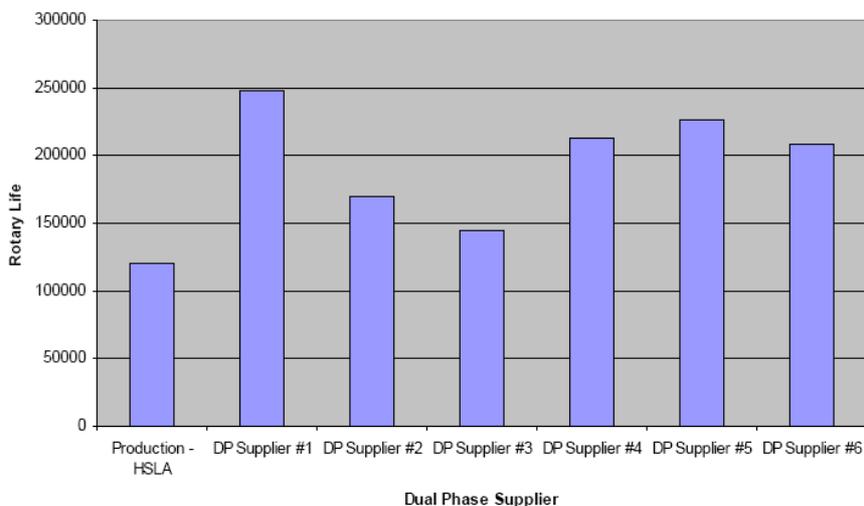


Figura 11. Gráfico da vida à fadiga em ensaio rotativo dos aços *dual phase* estudados e de um aço HSLA

Tabela 5. Limite de resistência (σ_t) e razão entre limites de escoamento (σ_y) e de resistência (σ_t) dos aços *dual phase* estudados e de aços HSLA típicos

Aço	σ_t min.	σ_y / σ_t
HSLA típico	520 MPa (75ksi)	0,80 a 0,90
Dual Phase	600 MPa (87ksi)	0,60 a 0,70

Segundo esse estudo da Hayes Lemmerz International Inc., os benefícios da utilização de aços *dual phase* puderam ser confirmados, visto que houve uma melhoria média na performance à fadiga de 50%, o que permitiria uma redução na massa de aproximadamente 10%.

Ainda segundo esse estudo, foi levantada a preocupação quanto à utilização de aços *dual phase* baseados em silício devido à aparição após a estampagem de defeitos superficiais que comprometeram a aparência. Foi recomendada a utilização de aços *dual phase* baseados em cromo para evitar tal problema.

O estudo realizou ainda uma verificação da aplicação de aços *dual phase* às rodas no estilo Kühnl, comparando com o aço HSLA a vida à fadiga (Fig. 12). Nota-se que o aço *dual phase* teve maior resistência à fadiga no ensaio rotativo.

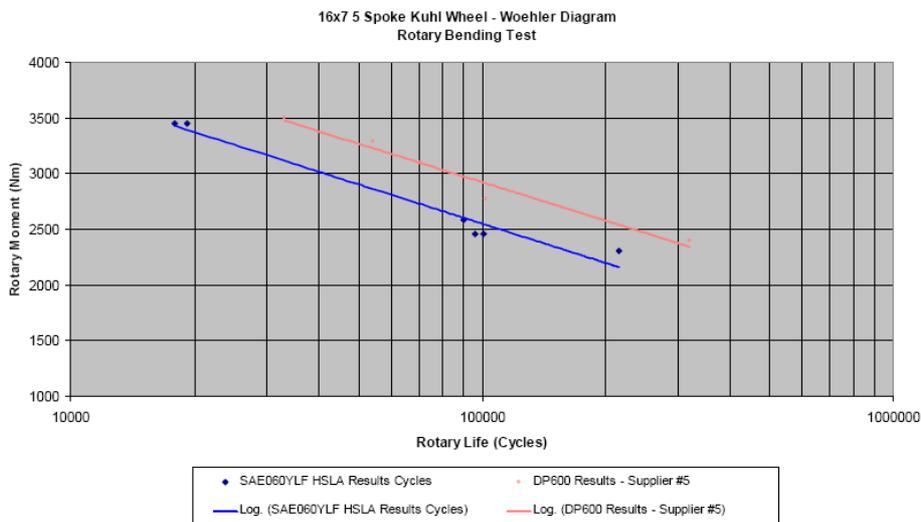


Figura 12. Diagrama de Wohler da vida à fadiga em ensaio rotativo de rodas Kühnl fabricadas com um aço *dual phase* e um aço HSLA

Os aços *dual phase* possuem também uma boa soldabilidade, não havendo grande detrimento das propriedades na zona termicamente afetada pela solda.

No Brasil, verificou-se a existência de um aço *dual phase* produzido pela Usiminas, o DP590, cujo limite de resistência é 590 MPa, disponível em espessura máxima de 2,30mm e largura máxima de 1500mm. O alongamento e o limite de escoamento devem ser acordados com a Usiminas.

8. Conclusões

Constatou-se que, de fato, as rodas utilizadas pela General Motors do Brasil estão com massa acima das outras rodas disponíveis no mercado. O principal motivo dessa realidade não é a geometria utilizada no disco dessas rodas, mas sim sua espessura. Explicações possíveis para essa diferença de espessura são a utilização de materiais com pior rendimento em termos de massa ou o maior rigor dos critérios de projeto dessas rodas. É recomendável que se faça verificações e testes quanto ao material utilizado nas rodas de outras montadoras acompanhados de uma reavaliação dos critérios de projeto das rodas utilizadas pela GMB.

Encontrou-se nas rodas no estilo Kühn uma alternativa constituída por um produto inovador, com vantagens técnicas e estéticas. Porém, a patente sobre esse produto torna obrigatória a negociação com a empresa proprietária. Ainda assim, é uma alternativa interessante devido à real possibilidade de redução de massa, às grandes janelas para ventilação dos freios, à estética diferenciada e à possibilidade de extensão do processo de substituição também às rodas de alumínio, através das coberturas que mimetizam o acabamento deste material.

O aço duplex (*dual phase*) mostrou-se um material mais eficiente para esta aplicação do que o HSLA (*high-strength low-alloy*) atualmente utilizado. Suas propriedades são propícias para os requisitos de projeto, provendo maior resistência estrutural (através da maior resistência à fadiga) e melhor estampabilidade (devido ao limite de resistência maior e à menor razão entre limites de escoamento e de resistência). É necessária uma avaliação quanto à disponibilidade desse material no mercado brasileiro.

Todas essas alternativas de solução necessitam ainda de um estudo e avaliação econômica mais aprofundados, possíveis apenas após negociação com os prováveis fornecedores das rodas como produto final e do material para manufatura das mesmas.

9. Referências

- American Iron and Steel Institute (AISI), Instituto Americano do Ferro e Aço – www.autosteel.org
Anuário da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) – disponível em www.anfavea.com.br
Department of Materials Science and Metallurgy of University of Cambridge, Departamento da Ciência dos Materiais e Metalurgia da Universidade de Cambridge – www.msm.cam.ac.uk
Enciclopédia do automóvel, volume 8. Editora Abril S.A. Cultural e Industrial. São Paulo, 1974. Páginas 1721 a 1724.
Fitz, F., Heck, T. Development of tooling for a light weight steel Kühn wheel. SAE World Congress. Michigan, 2001.
Handbook of automotive engineering; edição Braess, H. H., Sieffert, U.; SAE International, 2005.
Hayes Lemmerz International Inc. – www.hayes-lemmerz.com
Kaminski, Paulo. Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 2000. Páginas 27 a 35.
Manual de tecnologia automotiva, Bosch, R.; tradução Madjderey, H., Prokesch, G. W., Zerbini, E. J., Pfeferman, S.; São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
Normas 2005/2006 da Associação Latino-Americana de Pneus e Aros (ALAPA) – www.alapa.com.br
United States Patent and Trademark Office (USPTO), órgão oficial do governo dos Estados Unidos regulador de marcas e patentes – www.uspto.gov
World Intellectual Property Organization (WIPO), Organização Mundial da Propriedade Intelectual – www.wipo.int

REDESIGN OF STEEL STAMPED WHEELS

Rodrigo Hudson Watfe

rodrigo.watfe@poli.usp.br

Abstract. The objective of this paper is to reduce the total weight of the steel stamped wheels currently used by General Motors do Brasil, from the elaboration of project changes keeping standards of quality and safety. The objective will be achieved through redesign including evaluation of project, material and thickness of these wheels, justified by a Feasibility Analysis followed by the elaboration of proposals. As final results, alternatives for the attendance of the necessity were obtained, such as the project of Kühn styled wheels, material substitution for dual-phase steel and reevaluation of project criteria. A suggestion to the work sequence is the deepening into economic feasibility analysis for selection of these alternatives for elaboration of Basic Project.

Keywords: *Wheels, steel, forming.*