



# O DESIGN AUTOMOBILÍSTICO APLICADO NO TRANSPORTE DE TRABALHADORES RURAIS

Esse trabalho objetiva analisar um veículo e sua importância como meio de transporte para trabalhadores rurais: cortadores de cana, em especial.

Tal análise promoverá um melhor entendimento dos veículos (ônibus) que atualmente transportam os cortadores de cana no Brasil, e a posição deles nesse contexto de transporte. Uma das hipóteses trabalhadas é que os modelos atuais de veículos usados para esse tipo de transporte não correspondem às necessidades dos usuários, e outra sugere que a plataforma desses veículos, baseada em um chassi de caminhão, é inadequada para esse tipo de transporte, assim como a atual combinação entre uma plataforma e a uma carroceria produzidos por diferentes fabricantes e para propósitos diferentes, é ainda mais inadequada.





Figura 1: Ônibus urbano Apache da Induscar.  
1© Induscar

A fim de se testar tais hipóteses, esse estudo inclui o que eu considero ser o núcleo do trabalho, os aspectos mecânicos do ônibus transportando os cortadores, de acordo com as determinações da Norma Regulamentadora nº 31(NR-31). Enquanto a análise acima considera as visões apresentadas pela revisão da literatura e dos especialistas em transporte, o próximo estágio envolve uma pesquisa de campo, no sentido de comparar as condições desses veículos com os dados coletados na literatura.

## O VEÍCULO TRANSPORTANDO CORTADORES DE CANA

O veículo atual usado no transporte de cortadores de cana no Brasil é um ônibus urbano convencional (figura 1), com as seguintes características:

- Um chassis convencional de caminhão, normalmente equipado com um motor frontal.
- Uma carroceria metálica, medindo 12m de comprimento, 2,3m de largura, 3m de altura, pesando aproximadamente 9,5 toneladas, e com capacidade para 47 pessoas sentadas, em muitos casos adaptados para 60.

O ponto aqui é que, embora o ônibus urbano atualmente usado para esse tipo de transporte seja, de longe, a opção mais barata, ele é baseado em adaptações no sentido de atender a legislação em vigor. Como não existe um veículo especificamente projetado para esse transporte, isso significa que até o momento essa situação de transporte não tem sido considerada como um todo, como pode ser comprovado pela falta de estudos técnicos e científicos relacionados ao tema.

No decorrer desse estudo, foi importante também entender o que o ônibus transportando cortadores significa para todas as partes envolvidas na equação. Assim, algumas diferenças fundamentais foram identificadas, como segue:

- Para os cortadores: o veículo é um centro de convivência móvel, o qual significa que para eles, usabilidade é o fator principal.
- Para as companhias agrícolas: o veículo é um recurso para colocar os cortadores nas plantações, o que significa que custo benefício é um fator determinante em qualquer decisão de transporte, equilibrando as condições de viagem dos trabalhadores, a legislação, e os custos envolvidos.

- Para os fabricantes: o veículo é realmente tratado como um veículo, mas do que apenas um produto, como era esperado. Considerando que, confiabilidade e facilidade de manutenção mecânica são fatores determinantes no negócio dos transportes, eles acabam guiando as decisões dos compradores e dos fabricantes.
- Para os legisladores: o veículo significa a representação física de uma estrutura que serve os trabalhadores, focando na saúde, segurança e bem estar, indicando que a palavra de ordem aqui é dignidade.

Como podemos ver, afora as diferenças de significado apresentadas acima, apenas o fabricante considerou o veículo como veículo de fato, confirmando a atual importância de se projetar não apenas um produto, mas ir além, explorando uma solução mais holística para o problema. Nas plantações não existe nada além de solo e plantas, o que significa que os cortadores dependem de uma estrutura física para servi-los e ajudá-los durante o turno de trabalho. Ou seja, o foco dessa estrutura acaba sendo o próprio veículo, justificando uma legislação que considere o veículo como um todo, na preservação da saúde, da integridade física, e principalmente da dignidade dos cortadores.

Entretanto, as companhias agrícolas (compradores, nesse caso) não conhecem, claramente, o nível de inadequação dos ônibus urbanos para o transporte de cortadores, como pode ser confirmada por um dos questionários do estudo. Embora os ônibus sejam, inquestionavelmente, superiores aos caminhões adaptados, usados anteriormente, eles ainda apresentam muitas limitações (a maioria de ordem mecânica), quando operando em condições 'off-road'.

Por último, durante as comunicações e entrevistas com os diretores das companhias agrícolas, foi confirmado que, ao contrário de um veículo baseado em adaptações, a fim de atender a legislação, o desejo e a solução ideal para essas companhias seria adquirir um veículo especificamente projetado para o transporte de cortadores de cana. Assim, levando em consideração o fato de que o preço médio de um ônibus urbano no Brasil é de aproximadamente R\$ 200.000,00 (R\$ 80.000 para a carroceria e R\$ 120.000,00 para a plataforma), isso significa que, incluindo R\$ 40.000,00 (20% do custo do veículo) para as adaptações, o preço final desse novo e apropriado veículo deveria ser de R\$ 240.000,00. Com isso, esse veículo seria economicamente viável para ambos, fabricantes e compradores (companhias agrícolas).

## A Análise das partes mecânicas do ônibus urbano

O presente estudo deveria abordar trabalhos anteriores sobre o tema em questão, ou ao menos sobre o transporte de 30 pessoas ou mais em condições 'off-road'. Entretanto, a pesquisa desenvolvida por Rodrigues (1993) ainda é a única pesquisa dedicada especificamente ao problema desse tipo de transporte, não incluindo, entretanto, qualquer análise da plataforma do veículo. Por essa razão, esse trabalho considera e analisa, através da revisão de literatura e do posicionamento de especialistas, as partes mecânicas mais importantes do veículo. Por essa razão, uma estrutura de classificação de dados (figura 2), foi desenvolvida para a análise do veículo, como segue:

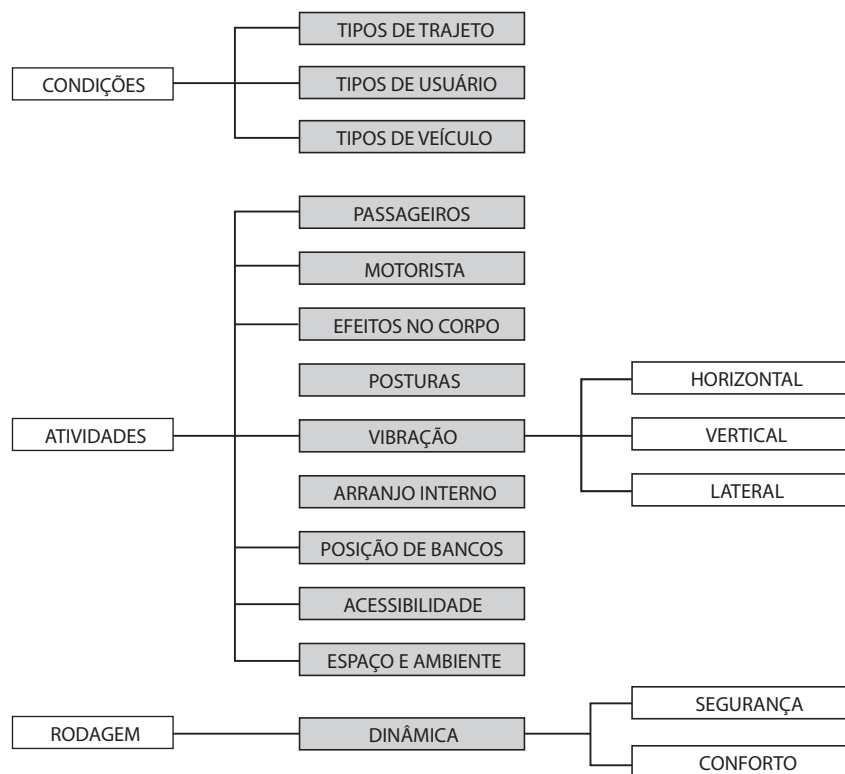


Figura 2: Estrutura de classificação dos dados.

O objetivo dessa análise foi obter o necessário suporte informacional para identificar as lacunas no entendimento da influência da plataforma do veículo, na relação entre o terreno e a carroceria do mesmo. Assim, nesse contexto, dois aspectos desse fenômeno são considerados: o papel das partes mecânicas na transmissão dos choques e vibração, e seus efeitos no transporte. O desafio reside no estabelecimento de uma correlação entre a interação das partes mecânicas e seus efeitos, à luz das condições atuais de transporte dos trabalhadores do setor sucroalcooleiro.

## O Tamanho do Veículo

Considerando que o tamanho do veículo exerce um impacto decisivo sobre muitos aspectos, tais como, o peso, a dinâmica e o arranjo interno, é crucial saber o número ótimo de cortadores a ser transportados pelo veículo. De acordo do Belebony (2006), o número ótimo de cortadores a ser transportado na indústria da cana-de-açúcar é ao redor de 60 por veículo, ao passo que na indústria da laranja esse número é de 40, e ainda menor nas indústrias do café e de reflorestamento. Isso confirma a necessidade de oferecer uma solução, por meio da qual, fabricantes possam atender diferentes mercados, sem precisar desenvolver novos veículos para cada necessidade. Assim como esse estudo revela, mesmo no futuro, a capacidade dos veículos transportando cortadores, provavelmente, continuará a mesma, simplesmente porque esse número está diretamente ligado à estratégia de produção. A capacidade de produção de cada companhia está relacionada à logística, a qual, por sua vez, está relacionada ao número de veículos e máquinas operando em cada área de aproximadamente 20ha, determinando, como resultado, o número de cortadores lá trabalhando.

Por essa razão, a expectativa de um aumento na área em  $m^2$  disponível por pessoa, com a recente adoção de ônibus urbanos transportando cortadores, em comparação com os caminhões adaptados usados anteriormente, acabou ficando comprometida, por esse número ótimo de cortadores por veículo.

Tipo de Veículo	Área Ocupada	Nº Pessoas	$m^2$ por pessoa
Ford F4000 (1993)	8,19 $m^2$	23	0,40 $m^2$ por pessoa
Mercedes 1113 (1993)	14,26 $m^2$	40	0,35 $m^2$ por pessoa
Ônibus urbano (2005)	26,56 $m^2$	60	0,44 $m^2$ por pessoa

Figura 3: Tabela da área disponível por cortador de cana em diferentes tipos de veículo.

Portanto, como podemos ver na figura 3, embora a área total do atual ônibus foi aumentada em 86%, se comparada à área dos caminhões adaptados transportando 60 cortadores, a atual área por pessoa foi aumentada em apenas 26%, o que é uma melhoria, mas ainda não o ideal. Isso significa que a atual área de  $0,44\text{m}^2$  por pessoa nos ônibus continua próxima da área (de  $0,35$  a  $0,40\text{m}^2$ ) disponível nos caminhões adaptados usados nos anos 90, ao contrário do ideal ergonômico de  $0,80\text{m}^2$  por pessoa.

## O Peso do Veículo

Tomando como base o peso de um ônibus urbano convencional, Barduco (2006) apresenta o que segue:

- O peso de um chassis equipado com motor Mercedes Benz 1722, como referência, é de aproximadamente 4.800 kg.
- O peso da carroceria de um modelo equipado com dois eixos e medindo 12 m de comprimento, é de aproximadamente 4.700 kg.
- O peso de todos os vidros laterais e traseiro, incluindo suas respectivas molduras de metal e borracha, é de 401 kg. Isso significa que o peso da área envidraçada do veículo, neste caso, é de 9% do peso total da carroceria, o que é um número bastante significativo.

Damada (2007) salienta as discrepâncias em relação ao peso dos ônibus transportando cortadores de cana, principalmente, pelo fato de que tanto o chassis quanto a carroceria desses veículos podem ser facilmente substituídos, o que significa que uma carroceria mais pesada pode ser montada sobre um chassis, no qual o motor e a transmissão, por exemplo, fora projetado para operar com uma carroceria mais leve, resultando em sobrecarga.

O peso, bem como sua distribuição, são componentes determinantes no design de um veículo como o ônibus, por exemplo: a altura e a concentração do peso em suas paredes laterais acabam exercendo um impacto na dinâmica desse tipo de veículo, particularmente em condições 'off-road'. Tais condições, associadas à um CG (centro de gravidade) mais alto, aumentam a chance de tombamento e capotamento. Por conta disso, áreas mais amplas de janela significam mais peso, o qual, por sua vez, significam um problema ainda maior com os aspectos dinâmicos desse veículo e, como resultado, indesejáveis solicitações mecânicas para a suspensão, além dos efeitos da vibração. Levando-se em conta o fato de que essa pesquisa revelou que uma área de janelas mais

ampla seria muito bem vinda pelos cortadores, a adoção de um material mais leve do que o vidro deve ser considerada. Somado a isso, as atuais estruturas de metal dos assentos são a maior causa de excesso de peso nos ônibus urbanos, constituindo 30% do peso da carroceria. Assim, considerando as observações apontadas com relação à uma melhoria nos aspectos dinâmicos do veículo, e à uma minimização dos efeitos da vibração, o peso das estruturas dos assentos deve ser também reduzida tanto quanto possível.

Na relação entre a dinâmica e o design de um veículo, uma parte importante no design da suspensão, seria a definição do design do interior desse veículo, seus parâmetros ergonômicos e distribuição do peso. Entretanto, não é exatamente o que se vê atualmente, já que o design de ônibus urbanos no Brasil está baseado numa plataforma já existente, com características mecânicas específicas, a qual é posteriormente modificada, quando combinada com uma carroceria instalada sobre ela, com um comportamento dinâmico diferente. Nesse sentido, uma mudança racional da relação forma-tamanho-peso no processo de locomoção 'off-road', pode produzir melhorias radicais no veículo, apenas se sua plataforma e carroceria forem consideradas em conjunto. Caso contrário, melhorias na carroceria não afetarão suficientemente o desempenho de um novo conceito de veículo se esta carroceria melhorada estiver montada sobre a mesma plataforma.

Não obstante isso, redução de peso é importante não apenas do ponto de vista dinâmico, mas também comercial, já que a força necessária para movimentar um veículo é proporcional ao seu próprio peso, mais o peso de sua carga, o que significa que quanto mais leve o veículo, maior sua capacidade de carga. Além disso, em termos de produção na indústria automobilística, redução de peso significa redução no consumo de energia, o que é também uma vantagem comercial óbvia.

Por conta disso, enormes desenvolvimentos têm sido vistos nos processos de fabricação e materiais como o aço, as ligas metálicas e os plásticos, têm contribuído significativamente para a redução no peso dos veículos. De acordo com Larica (2003), no início do século XIX a máxima tensão aceitável para um aço de alta qualidade era de 9 kg/mm<sup>2</sup>, ao passo que na década de 60 esse índice saltou para 18 kg/mm<sup>2</sup>, e atualmente é possível alcançar 27 kg/mm<sup>2</sup>. Essa é uma grande conquista na busca por uma combinação entre leveza e resistência. Somado a isso, ainda existe um tremendo potencial para aplicação do plástico nos veículos, confirmado pela quantidade desse material atualmente usada em um carro normal, o qual está na casa dos 250 kg, em média. Tal conquista, dentre outros benefícios, de acordo com o British Plastics Federation, representa uma economia de combustível da ordem de 7,5% para cada 10% de material plástico usado em um veículo.



## O Motor

Como a posição do motor é crucial em muitos aspectos do design de um veículo, afetando diretamente o layout interno do mesmo, a primeira coisa a fazer foi entender porque no Brasil existe uma preferência clara por ônibus urbanos equipados com motor frontal. Barduco (2006) explica que existem dois principais fatores que justificam essa preferência: primeiro, a diversidade dos tipos e condições da superfície das ruas e estradas no Brasil, associada ao fato de que o veículo tem que lidar com um amplo leque de topografias. Segundo, o custo, já que o chassi com um motor instalado na parte traseira é mais caro.

Considerando-se todos os dados técnicos coletados, o propósito de transporte, as condições de uso, o terreno, e o desempenho do veículo, 20 hp / tonelada é a potência ótima de motor que deve ser considerada para o veículo proposto. Essa é a mesma relação peso / potência considerada pelo British Army para os caminhões militares. Entretanto, mesmo o nível de desempenho dos veículos militares, em especial em combate, ser claramente superior, se comparado com os veículos transportando cortadores de cana, é importante considerá-los, como referência, devido as similaridades entre essas duas atividades de transporte 'off-road' de pessoas.

A relação peso / potência é obtida dividindo-se a potência do motor pelo peso do veículo. Assim, considerando o leque de motores diesel que comumente equipam os ônibus urbanos no Brasil, e o peso do veículo em questão (aproximadamente 13,5 toneladas carregado), o resultado é:

- Motor MB 1015 (10 toneladas / 150 hp) significa  $150 \div 13,5$  toneladas = 11,1 hp / tonelada
- Motor MB 1620 (16 ton. / 200 hp) significa  $200 \div 13,5$  ton. = 14,8 hp / ton.
- Motor MB 1722 (17 ton. / 220 hp) significa  $220 \div 13,5$  ton. = 16,3 hp / ton.

Portanto, a adoção de um motor capaz de desenvolver ao menos 220 hp deve ser considerada para um veículo transportando cortadores de cana, pesando entre 13 e 15 toneladas, resultando numa relação peso / potência  $\geq 16$  hp / tonelada, o qual figura entre os 20 hp / tonelada atualmente requerido para os caminhões militares, e os 12 ou 13 hp / tonelada atualmente encontrados nos ônibus.

No momento, a indústria automobilística como um todo está buscando novas alternativas de propulsão para seus veículos. Recentes desenvolvimentos nessa área têm envolvido tanto alternativas de combustíveis mais limpos e eficientes, quanto a adoção

de tecnologias híbridas. Coincidentemente, os veículos para o transporte coletivo de pessoas têm sido os primeiros a usar tecnologias híbridas em escalas comerciais, e tanto Fiat quanto Daimler-Benz foram pioneiras no início da década de 80. No caso de um veículo híbrido elétrico, parte da energia de tração é convertida em energia elétrica, e então em energia mecânica. Nesse sentido, o motor elétrico é capaz de gerar um desempenho bastante eficiente, independentemente da carga, otimizando assim a operação do motor, reduzindo o nível de ruído gerado, e promovendo uma maior flexibilidade ao pacote mecânico. Entretanto, uma das limitações dos veículos híbridos é o peso, já que as baterias representam 25% do peso bruto do veículo. Esse problema poderia ser facilmente resolvido com a adoção da tecnologia dos supercondutores, mas seu custo é, entretanto, ainda proibitivo.

A preferência das usinas de açúcar e álcool, expressada por seus gerentes e diretores durante as sessões de pesquisa de campo, seria por um motor híbrido etanol / elétrico equipando os veículos transportando os trabalhadores. Isso devido ao fato de que essas empresas produzem, atualmente, ambas fontes de energia, o que tornaria o transporte não apenas mais barato, como também mais limpo. Entretanto, não existe, no momento, um motor híbrido disponível no mercado brasileiro, com capacidade e força suficientes para um veículo do porte de um ônibus.

Uma outra alternativa bastante interessante é o uso de uma turbina a gás em substituição ao atual motor diesel, e tal recurso já equipa com sucesso muitos ônibus rodoviários, particularmente nos E.U.A. e no Canadá. De Old (2008), explica que esse tipo de motor oferece uma condução e rodagem mais macia, silenciosa (75% mais silenciosa que um motor diesel tradicional), e o mais importante: ele vibra bem menos, pela ausência do impacto causado pelo movimento de sobe e desce dos pistões do motor convencional. Ele também tem menos partes, não necessita de óleo ou outro tipo de lubrificação, e queima combustível tão eficientemente, com níveis de emissão tão pequenos, que praticamente não gera poluição. Seu peso é outra vantagem: um ônibus equipado com uma turbina como essa, chega a pesar uma tonelada menos do que um veículo equipado com um motor diesel, para a mesma capacidade e tamanho. Isso porque, dentre outros fatores, uma turbina não depende de uma caixa e de um eixo de transmissão, diferencial, radiador, bomba d'água ou correias.

Exemplos dessas alternativas são as micro turbinas Capstone que equipam os ônibus da DesignLine, e demonstram uma melhoria de 100% na economia de combustível sobre os veículos equipados com os tradicionais motores diesel. Como uma turbina pode, virtualmente, funcionar com qualquer combustível líquido ou gás, ele poderia

usar, por exemplo, o etanol – gerando apenas um décimo do óxido de nitrogênio gerado por um motor diesel convencional. Entretanto, as principais desvantagens da turbina são o fato de serem bem mais caras do que o motor diesel e não tão robustas quanto ele. De acordo com MacLaurin (2008), a turbina a gás funciona melhor sob uma carga alta e constante, daí a razão de seu uso nos ônibus rodoviários, que operam boa parte do tempo em velocidades de cruzeiro, completamente diferente do que ocorre em qualquer transporte ‘off-road’.

Portanto, apesar de todos os atributos do motor diesel, tais como seu baixo custo operacional, facilidade de manutenção e vida útil mais longa, se comparada aos motores movidos a gasolina, e mesmo apesar da maioria dos ônibus no mundo serem equipados com motores diesel, do ponto de vista da vibração, ele não é a solução mais apropriada para o transporte de pessoas em condições ‘off-road’, em particular se combinado com um chassi de caminhão, como o que equipa os ônibus que transportam os cortadores de cana no Brasil.

## O Chassis

Como podemos ver, o chassi é o elemento principal conectando a plataforma e a carroceria do veículo, constituindo-se em parte chave em termos de dinâmica e segurança, e ao mesmo tempo operando em associação com outras partes, como a suspensão, por exemplo. Por causa dos efeitos das outras partes (motor, transmissão e mesmo a carroceria) fixadas num chassi convencional de caminhão (figura 4), adotado pelos ônibus urbanos que transportam os cortadores de cana, de acordo com Costa Neto (2006), esse mesmo chassi acaba gerando mais de 30 diferentes ressonâncias quando em operação. Tais condições não são benéficas nem para o veículo, nem para os usuários.

O chassi dos veículos comerciais, incluindo os que equipam os ônibus, consiste em duas longarinas paralelas unidas entre si, que formam uma estrutura similar a uma escada, razão pela qual esse tipo de chassi é conhecido no Reino Unido como ‘chassi escada’. Paradoxalmente, muito embora a capacidade de torção (flexibilidade) desse tipo de chassi apresenta-se como vantagem para aplicações severas ‘off-road’, ele não é a melhor opção para o transporte de pessoas em terrenos irregulares, particularmente do ponto de vista da dinâmica de veículos. Isso porque, ele induz a problemas de vibração e choques, onde um chassi mais firme em termos de torção seria o ideal. Entretanto, cabe ressaltar que o chassi convencional de caminhão predomina



Figura 4: Exemplo de um chassi usado na plataforma dos ônibus urbanos.  
© Mercedes Benz

na indústria de ônibus brasileira, devido ao fato de que tal procedimento faz parte da cultura de produção de ônibus desde o início do século XX.

Embora a adoção de diferentes plataformas para uma mesma carroceria exija muitas adaptações, acaba sendo mais simples e conveniente, tanto para as empresas de transporte (clientes) quanto para os fabricantes de ônibus. Esses fornecedores não apenas fornecem uma plataforma completa, incluindo o chassi, trem de força, suspensão, rodas e pneus e o console de instrumentação, mas elas também oferecem o serviço de assistência técnica e de reposição de peças para tal plataforma, mesmo depois de fazer parte do produto final, ônibus. Apesar da evolução no mercado brasileiro de chassis, com uma gama mais ampla de opções, estas opções estão muito mais relacionadas à mudanças do tipo motor, transmissão e tamanho do que mudanças em relação ao conceito, particularmente concernentes à estrutura.

Muitos fabricantes europeus têm adotado com sucesso o chassi tubular para alguns de seus ônibus, com muitas vantagens para o produto final. De acordo com Barduco (2006), um projeto de um ônibus urbano baseado em um chassi tubular, foi desenvolvido no Brasil no início dos anos 90. Como resultado dessa experiência, três protótipos foram produzidos, os quais ainda estão em operação. Entretanto, esse modelo não foi colocado em produção por conta, justamente, de preocupações referentes a pós-venda e também à responsabilidade pelas autopeças, já mencionada acima.

Um outro bom exemplo de um chassi tubular para veículos, foi desenvolvido não para propósitos comerciais e sim militares. Trata-se do chassi que equipa um dos caminhões militares MAM, chamado Extreme Mobility Truck System. Esse chassi é formado por uma moldura tipo caixa usando tubos, o qual, em conjunto com uma suspensão mais macia do que o normal para um caminhão, é capaz de absorver as irregularidades do terreno, mesmo em velocidades mais altas em operações 'off-road'.

Considerando-se o fato de que um chassi convencional de caminhão é, originalmente, desenvolvido para suportar uma carga maior do que o peso do próprio veículo, existe um consequente nível de super dimensionamento quando aplicado no transporte de pessoas, para o qual, como nós vimos anteriormente, seria desejável reduzir o peso do veículo, tanto quanto possível, a fim de equilibrar a relação entre o peso do veículo proposto e o peso do grupo de cortadores transportados, seus pertences pessoais e ferramentas. Portanto, para esse contexto de transporte, o veículo deve ser equipado com uma alternativa de chassi mais leve e deformável, permitindo um maior nível de absorção de choques e vibração, além de um maior nível de segurança para os cortadores.

Portanto, apesar da conveniência para os fabricantes de ônibus brasileiros em adquirir o chassis, como parte da plataforma fornecida pelos fabricantes de caminhão, pelas razões apresentadas até aqui, o chassis de caminhão é, definitivamente, inadequado para o transporte de cortadores de cana.

## A Estrutura da Carroceria

Existem dois tipos distintos de estruturas de carroceria adotados em veículos comerciais como caminhões e ônibus: no primeiro, a carroceria ou cabine independente é montada sobre um chassis também independente, e no segundo, carroceria e chassis formam um conjunto único, cujo conceito é conhecido na indústria como 'monobloco', e que foi primeiramente introduzido nos E.U.A. e França no final da década de 30. No conceito monobloco, hoje aplicado na maciça maioria dos veículos de passeio, a parte inferior do conjunto, ou plataforma, acomoda um grupo de outras partes e componentes mecânicos, tais como motor, transmissão e suspensão, enquanto a parte superior, ou carroceria, acomoda os usuários e os acessórios de interface entre eles e o veículo. Como nesse caso, uma estrutura integral (plataforma + carroceria) é considerada no projeto, preocupações concernentes, por exemplo, à absorção de impactos, à segurança e à integridade física do veículo, não podem levar em conta apenas a plataforma, e sim essa estrutura integral (monobloco) como um todo.

Muito embora o design da maioria dos ônibus urbanos esteja baseado no chassis de caminhão, o conceito monobloco aplicado em ônibus não é novo no Brasil. Em 1958, a Mercedes Benz desenvolveu e produziu no País um ônibus (o modelo 0321) em escala comercial. De 1958 até meados dos anos 90, quando a empresa encerrou a produção de ônibus no Brasil com seu modelo 0371, todos os seus ônibus eram baseados no conceito 'monobloco'. Assim, é possível afirmar que houve, claramente, um retrocesso no processo de produção desse tipo de veículo no Brasil, ao menos no que diz respeito ao chassis, já que os modelos nacionais atuais, em quase sua totalidade, são baseados em duas estruturas independentes: a plataforma e a carroceria montada sobre ela.

Essa pesquisa demonstrou que grande parte dos danos à carroceria dos veículos transportando cortadores de cana são causados pelo contato com as plantas, galhos de árvores e pedras durante o trajeto através das plantações. Assim, a forma da secção transversal do veículo proposto deve ser inspirado em alguns veículos militares, como o Commando, por exemplo, cuja secção de sua carroceria é hexagonal. Nesse caso, as paredes

laterais formariam não um único plano (parede), mas sim dois, gerando um ângulo de 60° entre eles com um canto como resultado. Isso reduziria significativamente a área de contato entre as plantas e as paredes laterais da carroceria do veículo.

Outrossim, é importante ressaltar que a estrutura da carroceria dos ônibus urbanos atuais, não é, por si só, o problema. O problema é o peso significativo em suas paredes laterais, já mencionado anteriormente, devido ao peso do vidro nas janelas, e os problemas dinâmicos causados pelo tipo de chassi utilizado, os quais acabam, inevitavelmente, transferindo seus efeitos negativos para a estrutura da carroceria.

Novamente, embora a combinação de um chassi de caminhão e uma estrutura tubular (gaiola) ser, historicamente, parte do design dos ônibus urbanos brasileiros já há muito tempo, essa não é uma boa combinação para o transporte de cortadores de cana. Essa pode até ser uma boa opção, economicamente falando, mas definitivamente não o é do ponto de vista da dinâmica de veículos, segurança e conforto, particularmente quando enfrentando terrenos irregulares.

Como atualmente a carroceria de um ônibus urbano no Brasil é montada sobre um chassi independente, isso significa que atualmente existem duas estruturas independentes com diferentes resistências, flexibilidades, e mais importante: diferentes respostas em relação aos choques e vibração. Assim sendo, com as condições que envolvem o transporte dos cortadores de cana, a solução de design para estrutura da carroceria do veículo para tal finalidade, deve ser mais leve, e não apenas compatível com o chassi, mas também capaz de oferecer uma maior interação física com ele, formando, na prática, uma estrutura única e integral.

## A Suspensão

Suspensões baseadas em molas do tipo multi-lâminas (feixe de molas) são fixadas diretamente no chassi, como parte da plataforma do veículo. O sistema é atualmente encontrado na maioria dos ônibus urbanos no Brasil, o que contribui, significativamente, para os problemas relacionados à transmissão de choques e vibração. De acordo com Costa Neto (2006), um bom design de assento não consegue corrigir um projeto ruim de suspensão primária, constituindo um problema desafiador e altamente exigente a ser abordado pela pesquisa e desenvolvimento na área de design de veículos.

De forma simplificada, quando uma suspensão lida com obstáculos, a mola comprimida começa a se mover adquirindo energia potencial, e parte dessa energia é transferi-

da para a massa do veículo, mesmo quando a mola retorna ao seu comprimento inicial. Nesse contexto, as forças longitudinais exercidas sobre os pneus atuam no controle do veículo, particularmente durante a aceleração e frenagem, enquanto forças laterais são necessárias no sentido de alcançar estabilidade, proteger contra capotamento, e obter o controle direcional necessário do veículo. Isso significa que variações da força de contato dos pneus, por conta das irregularidades do terreno, tendem a reduzir a habilidade do veículo de ser controlado. Por essa razão, o desempenho da suspensão é usualmente considerado como o equilíbrio entre a rodagem, a extensão dinâmica dos movimentos da suspensão, e a quantidade de vibração dinâmica proveniente das forças dos pneus.

O conceito básico de estabilidade é a capacidade de um veículo de manter todas as suas rodas em contato com o terreno durante todo o tempo, sob a influência de diferentes forças atuando no sistema como um todo. Já a função da suspensão é absorver as ondulações do terreno, proporcionando um adequado nível de conforto aos usuários. Entretanto, é importante lembrar que quanto menor a massa do veículo, mais fácil é o trabalho da suspensão.

Persequim (2005), o qual desenvolveu um experimento para medir a faixa de frequência de um veículo (pick-up) sem os amortecedores, revelou que o nível de vibração para tal veículo durante os testes, foi 30 vezes maior em comparação com os dados obtidos nos testes com o mesmo veículo, mas desta vez equipado com os amortecedores. Isso explica a razão porque, durante os testes práticos envolvendo a avaliação dos usuários, eles começaram a se sentir mal (enjoar) apenas alguns minutos depois do início dos testes com o veículo desprovido dos amortecedores. Portanto, o objetivo dos amortecedores é dissipar a energia acumulada na suspensão e transferi-la para a massa do veículo, reduzindo, como resultado, os movimentos gerados pelas irregularidades do terreno e ou obstáculos.

Persequim (2005) também explica que a conversão da energia elástica da mola da suspensão em energia cinética da massa do veículo também depende da frequência natural do sistema. Em um sistema com uma frequência natural mais baixa, a massa adquire menos energia cinética do que em um sistema com uma frequência natural mais alta, no mesmo intervalo de tempo. Em um sistema com uma frequência natural mais alta, as forças geradas pela deformação ao ultrapassar um obstáculo, serão maiores por causa do uso de uma mola mais firme. Isso confirma, uma vez mais, a importância de se manter o nível de frequência natural tão baixo quanto possível. Nesse caso, um simples fator (dureza), de um componente simples da suspensão (mola) pode fazer uma grande diferença em termos de desempenho para o veículo. Quanto mais firme for a

mola, menor é a capacidade de absorção de choques e vibração da suspensão, e maior é o nível de frequência natural, o que significa que em aumentando a dureza das molas da suspensão de um veículo, potencializa-se os efeitos da vibração e deteriora-se o nível de conforto dos usuários.

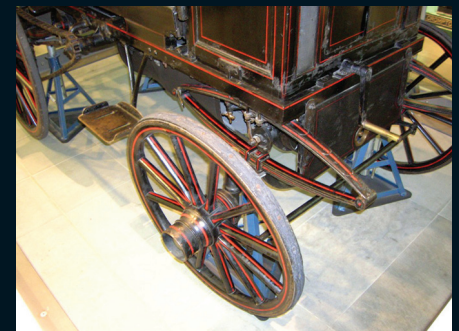
Por conta disso, o equilíbrio entre os componentes da suspensão e suas variáveis, é um fator determinante, particularmente quando a suspensão apresenta um nível de exigência alto, o que é o caso do tipo de veículo que transporta os cortadores de cana. O nível de exigência da suspensão, nesse caso, é alto não apenas pelo próprio tipo de veículo e terreno por onde ele trafega, mas principalmente por conta das necessidades dos usuários, considerando-se a segurança, o bem-estar e o conforto dos mesmos. A suspensão de um veículo transportando cortadores de cana deve ser firme o suficiente para lidar com estradas asfaltadas, e ao mesmo tempo, macia suficiente para lidar com a situação 'off-road'. A solução deve proporcionar um alto nível de absorção de choques, sem, contudo, maximizar os indesejáveis efeitos sobre os usuários, em especial, aqueles gerados pelos movimentos laterais do veículo.

Portanto, três diferentes tipos de suspensão são considerados aqui: em primeiro lugar, a tradicional suspensão baseada em feixe de molas e eixo rígido, por ser o tipo de suspensão mais comum equipando veículos comerciais, incluindo os ônibus. Em segundo, a suspensão independente, por ser o tipo de suspensão normalmente usada em veículos para aplicações 'off-road', e em terceiro, a suspensão a ar, por ser amplamente estudada pela última geração de veículos 4x4 de luxo (Sport Utility Vehicles – SUVs), e também pelo fato desse tipo de suspensão já ser usado com sucesso, atualmente, em caminhões e ônibus.

### **Suspensão com Feixe de Molas**

O conceito da suspensão com feixe de molas em veículos vem de muito antes da invenção do motor de combustão interna, e conseqüentemente antes do desenvolvimento do automóvel. Esse sistema foi desenvolvido à partir das carruagens com cavalos, e explica inclusive o termo "massa suspensa" na literatura, já que toda a estrutura da carruagem era, literalmente, suspensa e fixada aos eixos, por meio de molas formadas por várias lâminas semi-elípticas (figura 5).

Nesse tipo de suspensão, as rodas em cada um dos lados do veículo são unidas por um único eixo rígido. Como, nesse caso, as rodas não operam independentemente, a suspensão opera como uma unidade única, gerando uma rodagem não muito confor-



**Figura 5: Carruagem equipada com suspensão com feixe de molas .**



tável, como resultado. Entretanto, essa característica de trabalho é uma das principais razões pela qual a suspensão com feixe de molas permite uma maior capacidade de carga, mesmo em condições 'off-road'. Tal condição, em associação ao seu baixo custo, explica porque a maioria dos caminhões e outros veículos pesados são normalmente equipados com esse tipo de suspensão.

O fator de absorção de um veículo equipado com suspensão com feixe de molas pode variar tremendamente, dependendo da posição dos amortecedores, interna ou externamente em relação aos feixes de mola. Estudos conduzidos por Persegum (2005) confirmam que os amortecedores posicionados externamente aos feixes de mola, apresentam um aumento de 88% no fator de absorção, se comparados com a situação na qual os amortecedores são posicionados internamente. Felizmente, a vasta maioria dos veículos analisados transportando cortadores de cana no Brasil, estão equipados com seus amortecedores posicionados externamente em relação aos feixes de mola.

Outrossim, uma suspensão com feixe de molas requer menos partes, é menor, e sua construção é também mais simples se comparada com uma suspensão independente, o que significa que sua manutenção é, conseqüentemente, mais simples e mais barata. Somado a isso, também está o fato de que, devido a uma menor mudança em termos de alinhamento das rodas nesse tipo de suspensão, a consumo de pneus também é menor. Entretanto, ela proporciona um baixo nível de conforto de rodagem devido ao peso acentuado da plataforma do veículo, e os efeitos dos choques e vibração são maiores pelo fato de os movimentos das rodas de um lado do eixo afetarem os movimentos das rodas do outro lado. Motivado por sua simplicidade, novos avanços tem permitido o surgimento de promissoras soluções de projeto para a suspensão de feixe de molas, tal como um sistema constituído por lâminas transversais produzidas em materiais compostos. Mesmo assim, desenvolvimentos como esses ainda estão limitados muito mais aos automóveis do que aos veículos comerciais.

Portanto, apesar das vantagens desse tipo de suspensão, por tudo o que foi demonstrado acima, associado ao resultante CG mais alto do veículo, a suspensão com feixes de molas não é a mais adequada para o transporte de cortadores de cana. Como essa combinação acaba levando a problemas com a dinâmica do veículo, particularmente quando operando em condições 'off-road', ela resulta num comprometimento direto nas condições de segurança, bem-estar e conforto dos cortadores.

## Suspensão Independente

A invenção da suspensão independente (figura 6) marcou um importante capítulo na história da indústria automobilística. No lugar do tradicional e muito mais pesado sistema baseado nos feixes de mola e eixo inteiriço, a suspensão independente permite uma razão mais equilibrada entre as massas da plataforma e da carroceria do veículo, proporcionando mais controle e estabilidade, e resultando em um nível superior de segurança e rodagem, absorção de choques e conforto, mesmo em condições 'off-road'.

Em um veículo no qual as rodas trabalham de forma independente ao passar sobre um obstáculo, o movimento lateral do veículo é muito menor, comparado àqueles equipados com suspensão com feixe de molas (figura 7). Não obstante isso, nas mesmas condições, quanto mais baixa for a massa da plataforma, mais baixo será o efeito sobre a carroceria do veículo, o que é, sem sombra de dúvidas, benéfico, considerando a transmissão dos choques e vibração à carroceria, e consequentemente aos usuários.

Dentre outros benefícios, o fato da suspensão independente ser mais leve, ela permite a adoção de molas mais macias, por conta da redução das forças envolvidas entre rodas e pneus, melhorando principalmente o comportamento dos pneus em operação, o que significa, uma vez mais, mais segurança e mais conforto. Como afirma Olley (1934) citado por Persegui (2005), a suspensão independente é uma maneira de se manter o nível de amortecimento vertical tão alto quanto possível, sem, entretanto, comprometer a estabilidade e o controle do veículo.

Apesar das vantagens da suspensão independente, sua aplicação é mais comum nos carros de passeio do que nos veículos comerciais. De acordo com Costa Neto (2006), o fator limitante mais importante nesse caso, é o custo, já que o uso da suspensão com feixe de molas e eixos inteiriços ainda é a maneira mais barata de absorver choques, o que inclusive explica porque nas pick-ups e veículos 4x4 de luxo americanos, a suspensão independente é usada apenas na frente do veículo, mantendo o feixe de mola e o eixo inteiriço na traseira. Muito embora exista muita discussão ao redor da adoção da suspensão independente para veículos comerciais, em particular devido à legislação voltada aos deficientes físicos (piso baixo, por exemplo), suspensão com feixes de molas continua sendo a opção mais comum adotada em veículos comerciais.

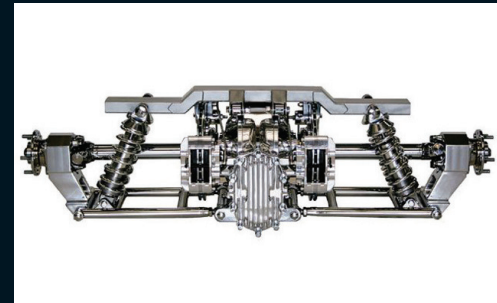


Figura 6: Suspensão Independente.  
© Tri-cycles (DFTREAS)

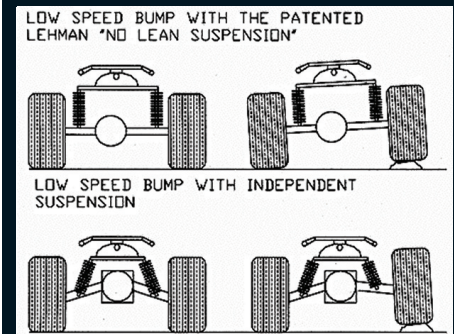


Figura 7: Suspensão independente em operação.  
© Trikeit

A adoção de suspensão independente para ônibus seria, portanto, de grande ajuda na conquista de um nível aceitável de conforto e estabilidade. Isso leva à conclusão de que, apesar do custo muito maior em comparação com a suspensão com feixe de molas, a suspensão independente é plenamente apropriada para um veículo transportando cortadores de cana.

### Suspensão a Ar

Suspensão a ar é atualmente a melhor solução disponível, quando um nível maior de amortecimento vertical é requerido. Esse tipo de suspensão consegue manter níveis de rodagem e frequência constantes, mesmo sob a variação de peso do veículo, além de permitir um controle ajustável de sua altura, sempre que necessário. De acordo com Stayner (2001), veículos equipados com suspensão a ar apresentam movimentos verticais com frequência natural menor que 1Hz, o qual é extremamente benéfico aos usuários, em termos de transmissão da vibração. Uma outra importante vantagem da suspensão a ar é o fato de que ela pode ser montada tanto como parte de uma suspensão com feixe de molas quanto de uma suspensão independente. No exemplo abaixo (figura 8) pode ser visto uma suspensão a ar montada em uma suspensão com feixe de molas, e essa é a prática atualmente adotada nos ônibus e nos caminhões mais modernos.

Um micro ônibus fabricado no Reino Unido pela Optare é equipado com um sistema de suspensão a ar muito bem resolvido, baseado num eixo inteiro na traseira e independente na frente. Esse veículo representa um bom exemplo de uma combinação de soluções eficientes usando materiais e processos de produção apropriados em direção a um bom conceito de dinâmica veicular, incorporando também princípios de usabilidade e manufatura. Como a suspensão a ar desenvolvida para esse veículo apresenta um desempenho excelente para um veículo com uma longa distância entre eixos (7,2m), isso reforça a adoção da suspensão a ar como solução potencial para o transporte de cortadores de cana. Essa suspensão ofereceria um desejável nível de conforto, mesmo em condições 'off-road', sem comprometer a segurança dos usuários.

Entretanto, um importante desenvolvimento nessa área é um novo sistema proposto pela Goldschmitt para um 'motor-home' de oito toneladas (figura 9). Muito embora o fabricante enfatize o conforto e a capacidade de auto nivelamento como a vantagem principal desse sistema, se comparado aos tradicionais sistemas de suspensão a ar, o aspecto mais importante para o veículo transportando cortadores de cana seria o

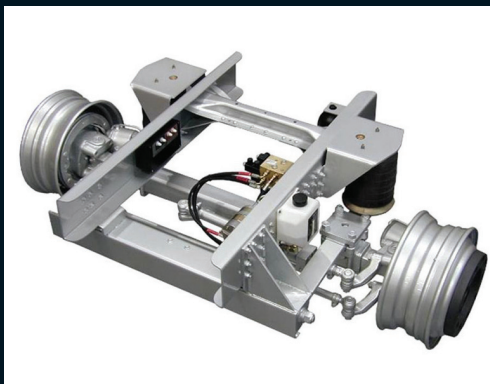


Figura 8: Exemplo de suspensão a ar.  
© IMG/Alibaba



Figura 9: Sistema de suspensão a ar da Goldschmitt.

espaço menor necessário para acomodar a suspensão, em relação ao o espaço necessário nos sistemas convencionais baseados em bolsas infláveis verticais (figura 10) das suspensões a ar. Essa nova solução combinaria, assim, um melhor layout da plataforma, liberando um espaço que poderia ser usado para compartimentos essenciais na parte inferior do veículo.

Pesquisando sistemas de suspensão fica claro que existe um ajuste natural entre os diferentes efeitos da vibração e os diferentes níveis de conforto. Isso ajuda a explicar a razão pela qual ao se minimizar os efeitos da vibração, é necessário aumentar o nível de amortecimento da suspensão, sem aumentar a instabilidade e os consequentes riscos de capotamento do veículo. Como a vibração gerada no sistema de suspensão como um todo, é transmitida em alta frequência, multiplicando o efeito de ressonância, a melhor abordagem seria minimizar a vibração próximo de suas fontes, particularmente os pneus, tanto quanto possível, lembrando que quanto maior o número de partes existentes entre a entrada e a saída da vibração, maior a sua escala. Por conta disso, a suspensão a ar é também favorável nesse contexto por requerer menos partes se comparada aos outros sistemas de suspensão.

Além disso, está também provado que a suspensão a ar melhora o desempenho e a dirigibilidade, aumentando a longevidade dos eixos, do sistema de freios e da própria carroceria do veículo – em especial os componentes mais sensíveis, como aqueles do sistema elétrico – devido a uma vibração mais baixa sobre o chassi, além de uma manutenção mais fácil e mais barata. Comparando um sistema baseado na suspensão a ar instalado em um chassi mais leve e menos flexível, com um sistema tradicional baseado em uma suspensão com feixe de molas e chassi de caminhão, a primeira opção proporcionaria não só um melhor equilíbrio de todo o conjunto mecânico, como uma rodagem melhor do veículo. Isso reforça a conclusão de que a um sistema de suspensão a ar é definitivamente o mais apropriado para veículos transportando cortadores de cana.

## Pneus

O fato de que a roda como solução de locomoção sofre ao lidar com qualquer coisa diferente de uma superfície dura e plana, como terra fofa, neve, lama, alagados, areia e rochas, abriu caminho para que uma outra notável invenção surgisse, constituindo-se em um marco da indústria automobilística: o pneu. Esse é, sem sombra de dúvidas, um elemento padrão e universal de qualquer veículo terrestre, e seu propósito é minimizar



**Figura 10: Exemplo de suspensão a ar convencional.**  
© Goldschmitt AG e Daimler Chrysler, respectivamente.



**Figura 11: Exemplo de um pneu / roda com diâmetro maior em relação à largura.**  
© Talltires



**Figura 12: Exemplo de pneus / rodas com diâmetro menor em relação à largura.**  
© Rolligon tyres

algumas das limitações da roda, e também lidar com problemas dinâmicos no sentido de melhorar a capacidade de locomoção do veículo, como resultado. Dessa forma, os pneus representam um significativo componente na área dos transportes, e suas características influenciam consideravelmente alguns dos importantes atributos de um veículo, tais como capacidade de carga, de manobra, os efeitos das molas e a supressão ou minimização de ruídos.

Em poucas palavras, o pneu é um dispositivo de borracha conectado a roda, o qual age como uma mola pneumática, reduzindo os efeitos da vibração e diminuindo o desconfortável ruído causado não apenas pela vibração, mas também pelo contato entre as rodas e a estrada. O nível atual de tecnologia dos pneus é impressionante, confirmado por milhares de patentes que vão desde melhorias químicas da borracha e seus compostos, até soluções estruturais combinando diferentes níveis de desempenho com um grande leque de aplicações. Isso significa que o nível de pesquisa e desenvolvimento relativos ao pneu têm sido tão significativo quanto o desenvolvimento do próprio automóvel, muito embora as mais importantes descobertas nessa área não estão publicadas e continuam mantidas como segredos industriais por parte dos fabricantes. Isso torna qualquer tentativa de realizar uma pesquisa mais completa e profunda sobre o assunto, uma tarefa difícil.

Por causa desse alto nível de desenvolvimento na tecnologia dos pneus, muito tem se conquistado em termos de redução na resistência de rolagem dos veículos comerciais, mas o motor, ainda é o principal elemento usado para vencer tal resistência. De acordo com Popov (2003), cerca de um terço da energia produzida pelo motor de um veículo pesado é usada para vencer sua resistência de rolagem, explicando porque as forças verticais que atuam sobre os pneus são 200 vezes maiores do que as forças longitudinais, e isso está, inevitavelmente, ligado ao consumo de combustível. Só no Reino Unido, o gasto anual de combustível dos veículos pesados foi de aproximadamente £ 4 bilhões entre 1992 e 1993.

Já em condições 'off-road', dependendo do nível de umidade da lama e da consistência do solo, diferentes pressões e áreas de contato com o solo são necessários. Ao lidar com terra fofa ou lama com bastante água, pneus com um diâmetro maior em relação às suas larguras apresentam vantagem (figura 11). Ao contrário, ao lidar com lama com pouca água, assim como com areia, pneus com uma largura maior em relação ao seu diâmetro, apresentam melhor desempenho (figura 12). No primeiro caso, uma das funções mais importantes do pneu é ser capaz de obter tração através da camada mais dura de solo encontrada abaixo da camada de lama, ao passo que no segundo caso,

uma das funções mais importantes é garantir um certo nível de flutuação, evitando o atolamento do veículo, como resultado.

Nesse contexto, o objetivo para o desenvolvimento de um tipo específico de pneu é melhorar o desempenho do veículo, não apenas a fim de oferecer melhores condições de rodagem durante um dado trajeto, mas também mantendo a integridade física do veículo. Como a capacidade de adesão dos pneus atuais melhorou 200%, de acordo com French (1989), isso tem permitido a produção de pneus com paredes laterais mais finas e bandas de rodagem (áreas de contato) maiores, melhorando a ação dos freios e da direção, e aumentando assim o controle e a segurança.

Apesar de sua vulnerabilidade, pneus com paredes laterais mais finas (radiais, por exemplo) são capazes de proporcionar um nível maior de amortecimento vertical, e consequentemente uma absorção maior de choques e vibração. A literatura mostra a importância dos pneus para o conforto dos veículos, por causa de tais atributos. Entretanto, a mesma parede mais fina dos pneus radiais que permite uma melhor adesão, acaba sendo vulnerável ao impacto e é facilmente danificada por cortes, o que exige um cuidado extra durante o uso. Esse é um problema para os veículos transportando os cortadores de cana no Brasil, já que atualmente a maioria dos ônibus está equipada com pneus radiais.

Muito embora, a absorção dos efeitos das irregularidades de um terreno proporcionada pelos pneus seja muito importante do ponto de vista da vibração, a absorção dos pneus é menor do que a absorção proporcionada pela suspensão do veículo, devido ao fato de que o nível de amortecimento vertical dos pneus é normalmente de 5 a 10 vezes menor do que o nível de amortecimento vertical das molas da suspensão. Mesmo assim, considerando que o amortecimento vertical dos pneus depende de seu tamanho e pressão, a pressão dos pneus também influencia a rodagem do veículo, fica confirmado que controlando a pressão e consequentemente o nível de amortecimento dos pneus, de acordo com as condições de terreno e operação, seria altamente benéfico para o transporte dos cortadores de cana em situações 'off-road'.

Em resposta à isso, um sistema conhecido como Central Tyre Inflation (CTI) ou simplesmente, Sistema de Enchimento de Pneus, poderia ser adotado no veículo proposto. Esse sistema é baseado no controle da pressão dos pneus do veículo de acordo com diferentes pesos de carga e condições de terreno, considerando que existe um específico e apropriado nível de amortecimento vertical dos pneus para qualquer carga e velocidade. Por exemplo, de acordo com fabricantes, para operações em altas velocidades, o nível de amortecimento vertical dos pneus deveria ser de 15%, ao passo que

para operações em baixas velocidades esse mesmo nível deveria ser de 30%. Como uma diminuição no nível de amortecimento vertical dos pneus acompanha uma leve redução da vibração na carroceria do veículo, isso conseqüentemente reduz a vibração no sistema como um todo. Isso significa que o controle do nível de amortecimento vertical dos pneus, tanto de acordo com o tipo de terreno, quanto com o tipo de operação, deve ser recomendado para o veículo transportando cortadores.

Os pneus equipando os veículos que transportam os cortadores de cana no Brasil também precisam lidar com terra fofa e lama. Em tais situações, a formação de canais (valetas) seja talvez o tipo de obstáculo mais comum, e sua magnitude depende do nível de umidade da lama. Levando-se em consideração a importância do controle da pressão dos pneus nesse cenário, ao lidar com situações como essa, cálculos de Maclaurin (2007), usando a 'Quarter Car Model', mostram que o nível de aceleração da vibração pode cair de  $1,14 \text{ m/s}^2$  em estradas pavimentadas para  $0,98 \text{ m/s}^2$  em estradas não pavimentadas, e ainda para  $0,76 \text{ m/s}^2$  em terra fofa ou lama (com uma velocidade limite de 20 km/h). Isso significa que a simples adoção de um sistema CTI proporcionaria uma rodagem muito melhor no asfalto, com muito menos danos nas estradas de terra, e um desempenho superior quando operando em terra fofa ou lama.

Portanto, baseado nas informações apresentadas acima com relação aos pneus, fica claro que os atuais pneus radiais não são totalmente adequados para equipar os veículos transportando cortadores de cana. Embora as paredes laterais desse tipo de pneus sejam inquestionavelmente mais finas do que os seus predecessores, eles são incapazes de proporcionar o nível de amortecimento vertical requerido para lidar não só com os diferentes tipos de solo verificados nos levantamentos de campo com os veículos operando em condições 'off-road', mas também pela diversidade de estradas (pavimentadas, não pavimentadas) e plantações (terra fofa e lama).

## Capacidade de Manobra

A pesquisa de campo revelou o interesse por parte de algumas empresas em transportar uma quantidade maior de cortadores de cana em um mesmo veículo. Tal solução acabaria economizando tanto energia quanto dinheiro, e seria ambientalmente mais correta. Entretanto, a combinação das condições de terreno e o layout dos carregadores (caminhos estreitos para apenas um veículo) que cortam os canaviais, tornariam essa solução inviável. As limitações em termos de capacidade

de manobra do veículo, impostas por suas condições de uso, limitam a adoção de um veículo mais longo do que os atuais 12 m ou 13 m dos ônibus que fazem esse transporte. De acordo com a opinião dos motoristas expressadas durante a pesquisa, mesmo os atuais ônibus já enfrentam dificuldades de manobra quando trafegando pelos carregadores através das plantações, devido a pouca largura dos mesmos (figura 13), em particular em áreas ocupadas por plantas maduras (as mais altas). À medida que a cana de açúcar cresce, ela acaba naturalmente invadindo e ocupando parte dos carregadores, reduzindo significativamente a largura original de 3,5 m. Ainda de acordo com os motoristas, sob tais circunstâncias, a combinação da limitação de manobra com o tamanho do veículo, não apenas compromete a dirigibilidade, mas danifica os veículos, em especial suas laterais e espelhos externos, os quais estão expostos aos choques das plantas.

Esse problema pode ser resolvido dividindo o veículo em duas partes, unidas por uma junção universal. Entretanto, considerando que numa situação como essa, cada uma das partes (módulos) do veículo tenderiam a seguir as inclinações e irregularidades do terreno, separadamente, associado ao alto CG, as chances desse tipo de veículo transportando os cortadores de cana tombar, aumentaria substancialmente. Isso sem mencionar o desconforto dos usuários que passariam a estar sentados numa plataforma baseada numa curta distância entre eixos, a qual aumentaria, sobremaneira os efeitos dos choques e vibração oriundos dos obstáculos e dos vários tipos de irregularidades de superfície.

Um outro sistema já disponível no mercado que é uma junção plana, adotada extensivamente pelos ônibus urbanos articulados. O problema é que como nesse caso o veículo estaria dividido em duas partes, as limitações discutidas no último parágrafo com relação à segurança e conforto estariam também aqui presentes. Além disso, existem duas outras limitações que devem ser consideradas aqui: primeiro, esse sistema foi projetado para lidar com movimentos planos (verticais e horizontais), e não movimentos de torção, presentes em um veículo operando em condições 'off-road'. Segundo, o custo do sistema para esse propósito de transporte seria proibitivo.

Eu descobri ainda um outro sistema capaz de melhorar a capacidade de manobra, não tão eficiente quanto qualquer um dos sistemas de articulação apresentados acima, mas capaz de aumentar a capacidade de esterçamento (raio de giro) do veículo em aproximadamente 30%. Trata-se do sistema que inclui um terceiro eixo traseiro esterçável, o qual trabalha em conjunto com eixo frontal esterçável. Um exemplo desse conceito pode ser visto no chassi Scania K270 para ônibus urbanos, como podemos ver na figura 14.



**Figura 13: Estreitos carregadores em meio às plantações.**



**Figura 14: Chassi de ônibus urbano com terceiro eixo esterçável. ©: Scania**



Apesar da importância do terceiro eixo no contexto de transporte 'off-road', ele exigiria um raio de giro maior do veículo, se comparado com o layout do ônibus urbano convencional equipado com apenas dois eixos. Com o terceiro eixo na traseira, os pneus traseiros tendem a escorregar lateralmente quando o veículo faz curvas, forçando-o a ficar fora da direção correta da curva, aumentando conseqüentemente o raio de giro. Entretanto, como sugerido acima, com a inclusão do terceiro eixo, esse 'efeito colateral' poderia ser significativamente reduzido com a inclusão da suspensão a ar e do sistema CTI, já que reduzindo a pressão da suspensão no terceiro eixo, a carga sobre os pneus estaria sendo também reduzida. Isso aumentaria a carga nos pneus no segundo eixo, movimentando o centro de giro para frente, e reduzindo, como resultado, o raio de giro.

Para concluir, analisando o veículo agora como um todo, considerando os dados da pesquisa de campo e das partes mecânicas do mesmo, fica claro que o ônibus urbano convencional usado para o transporte público não é totalmente apropriado para o transporte dos cortadores de cana. Isso porque, apesar das vantagens em se adotar esse tipo de veículo para esse tipo de transporte no Brasil; apesar de todos os seus pontos favoráveis se comparado aos outros veículos aqui analisados, tais como facilidade de manutenção, bom investimento inicial, baixo custo operacional, confiabilidade e ser ambientalmente mais correto do que os demais, ele apresenta um desempenho pobre em termos de absorção de choques e vibração, e apenas um modesto grau de controle e dirigibilidade e conforto quando operando em condições 'off-road'.

Afora os benefícios quanto à segurança, conforto e bem estar dos cortadores, uma potencial economia pode ser obtida com a redução no tempo de viagem dos cortadores de cana, assim como com a redução das interrupções das viagens por causa das chuvas, se um veículo mais apropriado para lidar com as diferentes condições e tipos de terrenos levantados na pesquisa, for adotado. Um veículo que ofereça um desempenho superior em tal contexto de transporte, proporcionará às empresas um uso mais eficiente dos tempos de viagem. Atualmente, a produção de cana de açúcar, através do corte manual, depende diretamente de como o tempo dos cortadores é gerenciado nas plantações. Ao atender a legislação trabalhista relativa à essa atividade profissional em seu turno de oito horas, significa que qualquer redução nos tempos de viagem é diretamente benéfica não apenas para as empresas, mas principalmente para os cortadores, os quais passariam a contar com uma maior flexibilidade de tempo nas plantações, podendo, como resultado, aumentar sua renda, através de uma produção maior.



## OSMAR VICENTE RODRIGUES

Doutor em Design de Veículos pelo Royal College of Art em London UK (2008); Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis SC (1993); Bacharel em Desenho Industrial pela UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, em Bauru SP (1986). É associado do centro Innovation RCA do Royal College of Art em Londres, UK, e já foi por 12 vezes premiado no Brasil e no exterior. Sua base profissional inclui academia, atuação prática e experiência industrial (administração e produção), cuja combinação do design com negócios, tem sido aplicada ao longo de sua carreira, tanto no desenvolvimento de processos e produtos para a indústria, quanto no desenvolvimento de suas atividades acadêmicas. É Professor do Curso de Design da FAAC da UNESP – Bauru desde 1989, onde é também Coordenador do Laboratório Didático de Materiais e Protótipos - LDMP.