

ANÁLISE DE AÇOS UTILIZADOS EM COMPONENTES ESTRUTURAIS DE CARROCERIAS DE ÔNIBUS E PROPOSTAS DE REDUÇÃO DE PESO ¹

Fabio Moreira da Silva Dias²

Flávia Tereza dos Santos Fernandes Tolomelli³

José Eduardo Ribeiro de Carvalho⁴

Giuliano Castelo Branco Dias⁵

Beethoven Max da Silva⁶

Resumo

A crescente busca da indústria automobilística por redução de peso nas carrocerias com consequente redução de consumo de combustível e emissão de gases poluentes aliado a maior segurança veicular, tem se tornado uma força motriz para as siderúrgicas na adequação de seus portfólios de produtos e para realização de trabalhos em parceria com as montadoras na área de engenharia de aplicação. Neste contexto, a CSN realizou um trabalho de reengenharia de aplicação com o objetivo de viabilizar a redução de peso de componentes estruturais da carroceria em alguns modelos de ônibus de um cliente desse segmento por meio da utilização de aços de maior resistência mecânica, o que possibilita a redução de espessura das chapas de aços com manutenção do desempenho mecânico dos componentes na carroceria. Foram analisadas as especificações de 174 componentes estruturais pela CSN, onde foi possível a realização de propostas para todas as peças, que estão em fase de validação técnica pelo cliente, com grande potencial de redução de peso da carroceria, de consumo de combustível, de emissão de gases poluentes e, ainda, redução de custo ao cliente.

Palavras-chave: Aços; Componentes estruturais; Ônibus; Redução de peso.

ANALYSIS OF STEELS USED IN BUS STRUCTURAL COMPONENTS AND PROPOSALS FOR WEIGHT REDUCTION

Abstract

The new environmental regulations and safety performance in the automotive industry are increasing the demand for lightweight structures. These new requirements are the main driving force that allow the steelmakers optimize their product offer in order to help the automotive industry reduce fossil fuel consumption and associated greenhouse effect. Co engineering works between steelmakers and automakers are the more suitable methodology in the steel specification for optimized body structures. Therefore, CSN carried out a co engineering project aiming body structure bus weight reduction with a client of this segment by the more intensive use of high strength steels. In this work, 174 bus structure parts were analyzed and the steel specifications optimized to reduce their weight and cost with mechanical performance maintenance.

Key-words: Steels; Structure parts; Bus; Weight reduction.

¹ *Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil.*

² *Engenheiro Metalúrgico, M.Sc. Engenheiro de Desenvolvimento Sênior, CSN - Companhia Siderúrgica Nacional. Volta Redonda, RJ, Brasil.*

³ *Engenheira Metalúrgica, M.Sc. Especialista em Desenvolvimento de Produtos, CSN - Companhia Siderúrgica Nacional. Volta Redonda, RJ, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Metalúrgico, M.Sc. Gerente de Desenvolvimento de Produtos, CSN - Companhia Siderúrgica Nacional. Volta Redonda, RJ, Brasil.*

⁵ *Engenheiro Metalúrgico, M.Sc. Especialista em Atendimento Técnico, CSN - Companhia Siderúrgica Nacional. São Paulo, SP, Brasil.*

⁶ *Engenheiro de Materiais, M.Sc. Gerente Comercial Automotiva, CSN - Companhia Siderúrgica Nacional. São Paulo, SP, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O forte apelo dos órgãos governamentais no atendimento aos requisitos ambientais e de segurança tem impulsionado as montadoras, tanto de veículos leves como de veículos pesados, a buscarem adequação ao atendimento a essas exigências. Dessa forma, as montadoras têm trabalhado intensamente em seus novos projetos com foco na redução de peso das carrocerias de forma a possibilitarem a seus veículos menor emissão dos gases poluentes e também redução do consumo de combustíveis. Outro fator a ser considerado, diz respeito à necessidade das montadoras de ônibus em disponibilizar um maior número de assentos. Com isso, a redução de peso possibilita a obtenção de uma reserva de peso para o aumento de área útil nas carrocerias, o que promove uma maior disponibilização de lugares sem impactar de forma significativa no aumento de peso do veículo. Ao longo dos anos, o aço tem sido a principal matéria prima utilizada na carroceria dos veículos, fato associado ao seu relativo baixo custo como também à sua grande capacidade de combinação de diferentes características e propriedades, e, ainda, boa reciclagem. Entretanto, tem-se observado que materiais mais leves (como o alumínio e outros) vêm ganhando espaço junto à carroceria, com potencial de deslocamento do aço. Assim, diversos trabalhos tem sido realizados pelos fornecedores de aço, por exemplo, o Future Steel Vehicle (FSV), organizado pela World Auto Steel,⁽¹⁾ onde o programa visa produzir um automóvel com utilização ampla de aços de alta resistência (*High Strength Steel* - HSS) e alta resistência avançados (*Advanced High Strength Steel* – AHSS) com a meta de redução de peso de 35%. A Figura 1 apresenta a proporção das respectivas classes de aço na carroceria do projeto do veículo. Trabalhos deste tipo visam manter o aço como material preponderante nos projetos atuais e futuros das montadoras.

Neste contexto, a CSN realizou um trabalho em conjunto com um cliente do segmento de produção de ônibus, onde 174 componentes estruturais foram avaliados e propostas para todas as peças foram realizadas. No momento, as propostas estão em fase de análise e validação pelo cliente, e apresentam uma relação custo/redução de peso atrativa para o cliente.

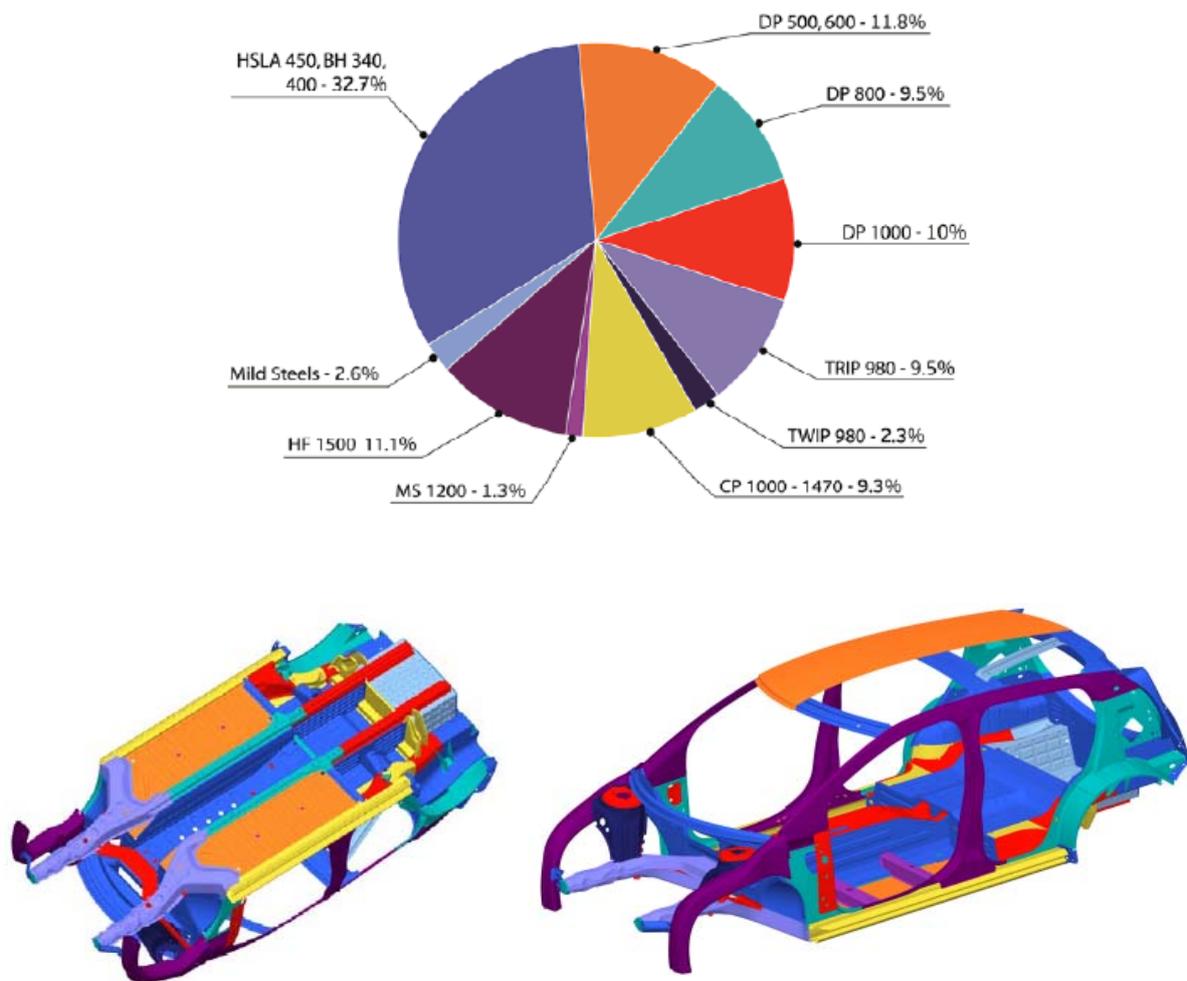


Figura 1. Participação percentual das diferentes classes de aços na carroceria do veículo projetado no programa Future Steel Vehicle.⁽¹⁾

2 MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 Materiais

Foram realizadas análises em 174 componentes estruturais, representativos de modelos de ônibus urbano, intermunicipal e rodoviário. A Tabela 1 apresenta as especificações atuais^(2,3) envolvidas no espaço amostral das peças analisadas.

Tabela 1. Especificações atuais dos componentes estruturais analisados

| Especificação | Quantidade de peças | (%) |
|---------------------------------|---------------------|-----|
| SEW 093 ZSTE 380 ⁽²⁾ | 23 | 13 |
| NBR 7008 ZAR 230 ⁽³⁾ | 151 | 87 |
| Total | 174 | 100 |

Verifica-se que a maior parte dos componentes estruturais corresponde à especificação NBR 7008 ZAR 230.⁽³⁾

2.2 Metodologia

Para obtenção da redução de peso, foram realizadas propostas representadas pela utilização de aços de maior resistência mecânica, o que possibilita a redução de espessura, considerando a manutenção do desempenho mecânico da peça na carroceria. Para o cálculo da nova espessura, associada à nova especificação de aço de maior resistência mecânica, foram adotadas como premissas básicas o critério de escoamento plástico proposto por Von Mises e a igualdade dos carregamentos dos componentes nas situações atual (especificação e espessura atuais) e proposta (especificação e espessura propostas). O critério de escoamento plástico de Von Mises baseia-se na teoria da energia de distorção máxima, onde a deformação plástica se iniciará quando a energia elástica de distorção por unidade de volume, armazenada no material devido a um carregamento externo, atingir um certo valor crítico característico do material, relacionado ao limite de escoamento deste.^(4,5) Assim, uma tensão resultante, ou efetiva, pode ser obtida derivada do critério de escoamento de Von Mises, pela combinação das tensões principais referentes ao estado de tensões aplicado, e o escoamento plástico se iniciará quando esta tensão efetiva relativa a um determinado estado de tensão atingir o limite de escoamento do material, para um estado de tensão uniaxial. Pela premissa da igualdade de cargas nas situações atual e proposta, tem-se a seguinte relação para o cálculo da espessura estimada:

$$e_2 = \left(\frac{\sigma_{esc1}}{\sigma_{esc2}} \right) \times e_1 \quad (1)$$

onde σ_{esc1} representa o limite de escoamento atual, σ_{esc2} representa o limite de escoamento proposto, e_1 representa a espessura atual e e_2 representa a espessura proposta.

A variação percentual de espessura é igual à variação percentual de massa, para uma mesma área total envolvida.

Assim, com base nas premissas apresentadas, foram propostas as substituições das especificações atuais conforme apresentado pela Tabela 2.

Tabela 2. Especificações atuais e respectivas propostas de alteração para especificações de maior resistência mecânica

| Projeto Atual | | Projeto Proposto | |
|---------------------------------|----------|------------------|----------|
| Especificação | LE (MPa) | Especificação | LE (MPa) |
| NBR 7008 ZAR 230 ⁽³⁾ | 230 min. | NBR 7008 ZAR 280 | 280 min. |
| SEW 093 ZSTE 380 ⁽²⁾ | 380-500 | SEW 093 ZSTE 420 | 420-540 |

LE: Limite de Escoamento.

Verifica-se que as especificações propostas^(2,3) representam aços de maior resistência mecânica, conforme respectivos valores mínimos ou faixas para a propriedade mecânica limite de escoamento. Dessa forma, para cada peça das 174 mencionadas, foi calculada, com base nas premissas apresentadas, a espessura proposta para a referida especificação.

O somatório da redução de peso de cada peça representa a redução de peso total da carroceria de cada modelo de ônibus, para o universo de peças de cada um dos modelos de ônibus avaliados.

A redução de peso das peças não somente permite a diminuição da geração de gases poluentes e consumo de combustível, mas também gera um potencial de redução de custo ao cliente, conforme relação abaixo.

$$\Delta R\$ = \left(\frac{R\$}{Pe\c{c}a} \right)_{Atual} - \left(\frac{R\$}{Pe\c{c}a} \right)_{Proposto} \quad (2)$$

A redução de custo potencial proporcionada ao cliente é representada pela variação do custo associado à massa da peça entre a situação atual e a proposta. Quando a relação descrita é positiva, significa que há uma redução do custo por peça para o cliente. Assim, a redução de custo total é representada pelo somatório da redução de custo de cada peça.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados potenciais obtidos.

3.1 Redução de Peso

A Tabela 3 apresenta a redução de peso potencial por modelo de ônibus e a redução total obtida. Os valores percentuais referem-se à massa total atual para o universo de peças de cada um dos modelos de ônibus avaliados.

Tabela 3. Redução de peso para as 174 propostas CSN

| Modelo | Redução de Peso (kg) | Redução de Peso (%) |
|----------------|----------------------|---------------------|
| Urbano | 190,64 | 17,76 |
| Rodoviário | 230,61 | 14,89 |
| Intermunicipal | 326,52 | 17,64 |
| Total | 747,77 | 16,72 |

Verifica-se uma redução total de 747,8 kg para os três modelos de ônibus, o que equivale à 17%.

3.2 Redução de Custo

A Tabela 4 apresenta a redução de custo potencial ao cliente em R\$/Peça.

Tabela 4. Redução de custo ao cliente para as 174 propostas CSN

| Modelo | Redução de Custo (%) |
|----------------|----------------------|
| Urbano | 16,57 |
| Rodoviário | 13,44 |
| Intermunicipal | 16,64 |
| Total | 15,48 |

No caso da implantação das 174 propostas CSN, o cliente poderá ter uma redução de custo de 16%, em R\$/Peça.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- As propostas CSN apresentam potencial de redução de peso de 17% para os componentes estruturais da carroceria dos ônibus avaliados, o que proporciona ainda uma redução de custo total, em R\$/Peça, estimada de 16%.
- Com a contínua demanda das montadoras por soluções que possibilitem redução de peso, aliado ao atendimento dos requisitos de segurança veicular e meio ambiente, a utilização de novos aços de alta resistência HSS e alta resistência avançados AHSS tem-se consolidado como uma solução técnica e economicamente viável.
- A CSN, alinhada às principais tendências do mercado automotivo, tem se empenhado na otimização da utilização de seus ativos para o enobrecimento de seu portfólio, no desenvolvimento conjunto de projetos de reengenharia de carrocerias e de novas aplicações com o objetivo de manter o aço como material preponderante nos projetos de veículos atuais e futuros.

Agradecimentos

Os autores agradecem a infra-estrutura e a toda equipe da CSN envolvida no desenvolvimento deste trabalho e, ao referido cliente, pela oportunidade de realizar este trabalho em parceria, que encontra-se em fase de validação, e por permitir a apresentação dos resultados potenciais pela CSN.

REFERÊNCIAS

- 1 Future Steel Vehicle – Overview Report. Disponível em: <www.worldautosteel.org>.
- 2 Cold Rolled Strips and Sheets of Micro-alloyed Steel with Increased Yield Point for Cold Forming: SEW 093:1987, 6 p.
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Chapas e Bobinas de Aço Revestidas com Zinco ou com Liga Zinco-Ferro Pelo Processo Contínuo de Imersão a Quente – Especificação: NBR 7008:2003. Rio de Janeiro: 2003, 7 p.
- 4 DIETER, George E. Metalurgia Mecânica. 2 Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1981. 653 p.
- 5 HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. 5 Ed. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2004. 670 p.