

APLICAÇÃO DE AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA MICROLIGADOS AO NIÓBIO EM CONTÊINERES DE CAMINHÕES GRANELEIROS*

Érico França¹
Leonardo Magalhães Silvestre¹
Marcos A. Stuart Nogueira¹
Hugo Rosa²

Resumo

A CBMM aplicou aços microligados ao nióbio de alta resistência mecânica para a fabricação de containers de caminhões que transportam grãos na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, com o objetivo de reduzir o peso desses equipamentos e possibilitar o aumento da carga útil transportada. O novo projeto reduziu em 10% o peso do container e também aumentou seu volume útil de 27 m³ para 29 m³. O investimento teve retorno com apenas 8 dias de operação com o novo projeto transportando arroz. Também foram obtidos ganhos no transporte de milho e soja com o retorno do investimento em 21 e 56 dias de trabalho respectivamente. O trabalho mostra os aços utilizados e as principais alterações nos projetos desses componentes.

Palavras-chave: Graneleiros; Aço; Microligado; Nióbio.

APPLICATION OF HIGH STRENGTH NIOBIUM MICROALLOYED STEELS IN THE CONTAINERS OF GRAIN TRANSPORT TRUCKS

Abstract

To reduce weight and increase payload, CBMM applied high strength niobium microalloyed steels in the containers of grain transport trucks in the Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba regions of the state of Minas Gerais, Brazil. The new design reduced container weight by 10% and increased volume from 27 m³ to 29 m³. Return on investment was achieved in only eight days for rice transportation. Gains were also made in corn and soybean transport, attaining return on investment in 21 and 56 days, respectively. The paper describes the steels used and the key design modifications in the containers.

Keywords: Grain trucks; Steel; Microalloy; Niobium.

¹ Departamento de Desenvolvimento de Mercado, CBMM - Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, São Paulo, São Paulo, Brasil.

² Departamento de Equipamentos Móveis, CBMM - Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, Araxá, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Transporte Agrícola no Brasil

O Brasil é um país que vem atuando fortemente na produção agrícola e um dos principais itens que definem a sua competitividade é o transporte. O Brasil tem um desafio bem conhecido que a forte dependência de efetuar o escoamento dos seus produtos por rodovias. Esse tipo de transporte é flexível e pode ser bem rápido mas perde na eficiência média e tem custos relativamente superiores aos dos transportes ferroviários. Perde em eficiência média pois depende das condições das estradas, as quais variam fortemente, especialmente no período das chuvas. Dependem também das condições de tráfego, muitas vezes crítico nas regiões próximas das grandes capitais. Dentro da cadeia de suprimentos de produtos agrícolas, a armazenagem é outro importante fator e, nesse quesito, o Brasil também enfrenta dificuldades tanto de planejamento quanto da existência de silos dimensionados adequadamente face o tamanho das safras. A falta de silos deixa os agricultores em sérias dificuldades, transformando seus caminhões em verdadeiros silos sobre rodas [1-3]. Estudos mostram que o quadro não é crítico, mas algumas unidades da federação têm uma produção agrícola substancialmente maior do que a capacidade de armazenagem, como três estados do Centro-Oeste e em Minas Gerais [1].

Outro fator de interesse no Brasil é a agricultura familiar, pequenas propriedades que empregam a família do proprietário. Esse tipo de agricultura é responsável direta pela produção de mais de 60% do feijão e mais de 40% do milho [1].

Na região do Triângulo Mineiro ao redor da cidade de Araxá, o transporte, da mesma forma que é feito em inúmeras outras regiões brasileiras, é feito por meio de caminhões com containers conhecidos como Roll On – Roll Off, Figura 1. Os containers vazios são deixados nas fazendas. Os caminhões voltam para as fazendas para recolher esses containers carregados, que são transportados para silos de armazenamento, de onde são recolhidos e transportados para os silos onde permanecem até serem requisitados para processamento posterior, Figura 2.



Figura 1. Caminhões do tipo Roll On – Roll Off recolhendo os containers carregados a serem transportados para os silos.



Figura 2. Exemplo de silos utilizados na região da cidade de Araxá.

A figura 3 mostra as regiões no Brasil onde estão concentradas as agriculturas de arroz, milho e de soja [3]. Nesse trabalho, estudou-se o transporte desses grãos de fazendas para silos num raio de 50 Km da cidade de Araxá. O transporte do arroz também foi considerado apesar de não ser uma cultura dominante nessa região, Figura 3. O preço médio por viagem de 50 Km nessa região é de R\$ 750,00, considerando a ida e a volta do caminhão. Normalmente as safras tem duração de 4 meses durante os quais as transportadoras trabalham em dois turnos totalizando 6 viagens por dia.

Cerca de 70% dessas estradas não são pavimentadas uma vez que os caminhões recolhem os grãos diretamente das fazendas.

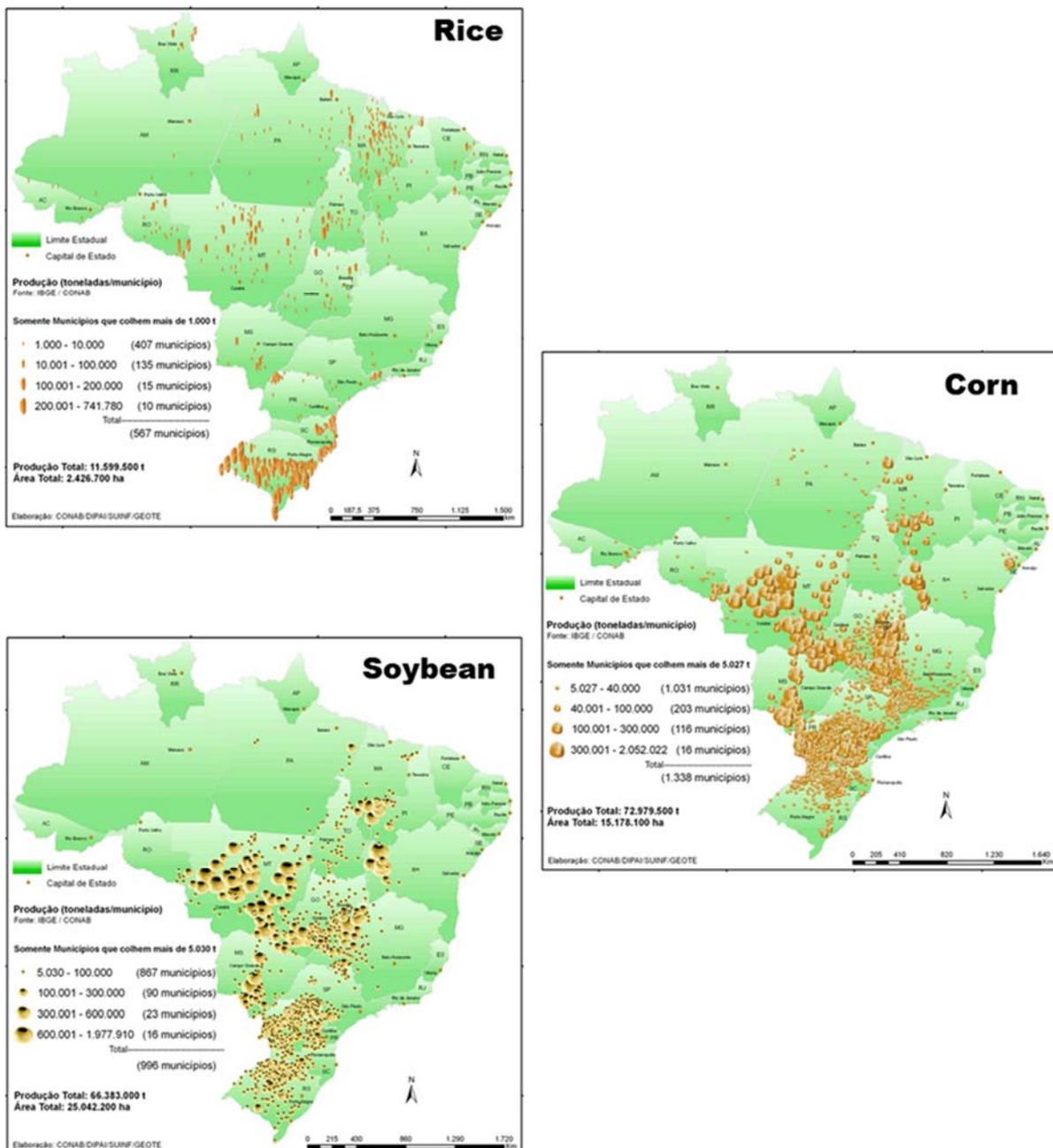


Figura 3. Regiões no Brasil onde predominam as culturas de arroz, milho e soja (3)

1.2 Aços de Alta Resistência para Reduzir o Peso das Estruturas

A eficiência e baixo índice de manutenção são pontos fundamentais para a viabilidade do negócio que depende do transporte dos grãos do campo até os armazéns por caminhões.

Do ponto de vista de manutenção, devido às condições das estradas não pavimentadas, os caminhões são submetidos a esforços cíclicos e sobrecargas momentâneas, solicitando fortemente suas estruturas. Além disso, as operações de carregamento e descarga dos grãos são momentos em que ocorrem impactos e pressões concentradas na estrutura do container.

Com o objetivo de aumentar a lucratividade no transporte, a possibilidade de se substituir carga morta por maior quantidade de carga útil, sem aumento no consumo

de combustível, sem superar a máxima carga permitida dos caminhões e com baixa necessidade de manutenção torna-se extremamente necessária.

O nióbio vem sendo tradicionalmente utilizado nos aços microligados denominados ARBL – Alta Resistência Baixa Liga e em outros materiais, como os aços de duas fases, como uma forma segura de aumentar a sua resistência mecânica e a sua tenacidade conjuntamente. Com isso é possível reduzir as espessuras de parede de componentes utilizados e aumentar a sua segurança conjuntamente [4-6]. Com pequenas adições de nióbio, normalmente inferiores a 0,05%, é possível aumentar as suas propriedades marcantemente, o que torna esses aços muito competitivos e uma solução fortemente empregada em vários segmentos da indústria. O nióbio refina os grãos austeníticos durante a laminação a quente assim como todas as fases formadas após essa operação, no resfriamento do material. O refino de grão é o único mecanismo que promove o aumento da resistência mecânica e o aumento da tenacidade ao mesmo tempo, sendo vários os exemplos práticos com essa adoção [7,8].

2 OBJETIVO DO TRABALHO

Nesse trabalho, aplicaram-se aços microligados ao nióbio de alta resistência para a construção de containers de caminhões do tipo Roll On – Roll Off com o objetivo de reduzir seu peso e aumentar a sua capacidade de transporte de carga sem afetar o máximo valor de carga total admissível pelos caminhões e estradas brasileiras. Os containers foram redesenhados, com redução de peso e aumento de volume útil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Houve a substituição dos aços carbono por microligados cujas composições químicas e propriedades mecânicas estão nas Tabelas 1 e 2. O limite de escoamento (YS) mais que dobrou com a utilização dos aços microligados, possibilitando a implantação de um desenho mais leve e com maior robustez no novo container.

Tabela 1. Composições químicas dos aços utilizados

Projeto tradicional – composição típica							
Aço	C	Si	Mn	P	S	Outros	Nb
ASTM – A36	0,16	0,20	0,70	0,020	0,020	-	-

Novo Projeto – composição típica							
Aço	C	Si	Mn	P	S	Outros	Nb
Docol 1000	0,152	0,440	1,50	0,016	0,003	-	0,015
Domex 700MC	0,063	0,062	1,790	0,017	0,003	V- 0,0011	0,060

Tabela 2. Propriedades mecânicas dos aços utilizados

Projeto Tradicional			Novo Projeto		
Aço	YS (MPa) Valor típico	TS (MPa) Valor típico	Aço	YS (MPa) Valor típico	TS (MPa) Valor típico
ASTM – A36	270	400-550	Docol 1000	760	1050
			Domex 700MC	730	800-950

A Figura 4 mostra um exemplo da microestrutura de um aço carbono comum e a influência da adição de apenas 0,05% de nióbio no tamanho de grão obtido, após trabalho termomecânico de laminação do material. O refinamento de grão é o único mecanismo com o qual melhora-se a resistência e a tenacidade simultaneamente.

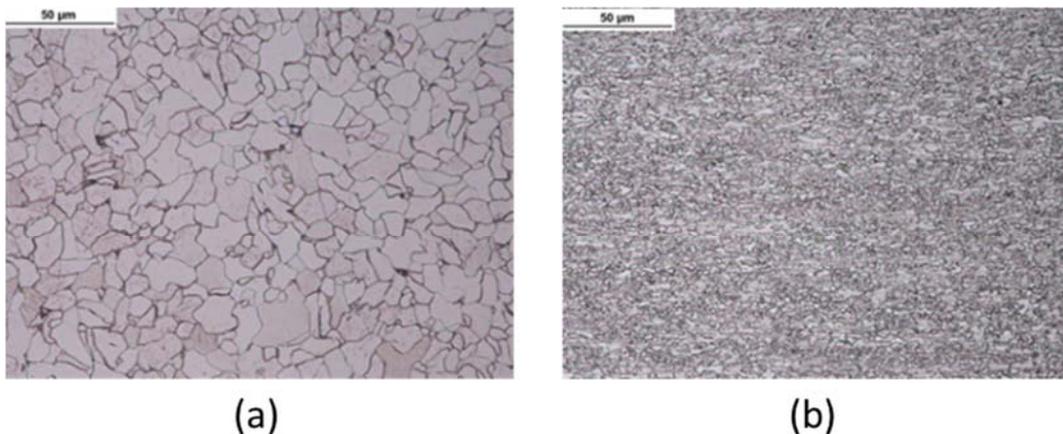


Figura 4. Comparativo da microestrutura de um aço carbono (a) e o efeito da adição de nióbio refinando os grãos em um aço DOMEX 700 MC (b). Tamanho de grão médio de 9,0 µm para o aço carbono e de 3,0 µm para o microligado.

A Figura 5 mostra o projeto tradicional do container, que utiliza aços comuns de baixa resistência. Este projeto, além de espessuras maiores do aço, requer a utilização de 14 reforços (“costelas”) em sua estrutura para a sustentação do container.



Figura 6. Novo container com aços microligados ao nióbio de alta resistência, peso de 2.170 Kg.

O novo container representou um aumento de valor de investimento de compra de R\$ 2.700,00 para esses primeiros protótipos utilizados.

4 RESULTADOS

A utilização de aços de alta resistência na produção das novas caçambas, possibilitou ao mesmo tempo, a redução de peso de 220 kg e o aumento da sua capacidade volumétrica de 27 m³ para 29 m³, Tabela 3.

Tabela 3. Redução de peso e aumento de volume útil da caçamba que utilizou aço microligado ao nióbio de elevada resistência

	Projeto convencional	Projeto com aços microligados	Ganhos
Peso (Kg)	2.390	2.170	- 9,5%
Volume (m ³)	27	29	+ 7,5%

Para o transporte de arroz, o projeto proporcionou o aumento da carga útil de 1.160 Kg por viagem realizada. Na movimentação de milho, o ganho foi de 580 Kg e para a soja de 220 Kg, Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Aumento de carga transportada devido à aplicação de aços microligados ao nióbio de elevada resistência mecânica.

Container 27 m ³	Arroz	Milho	Soja
Densidade (t / m ³)	0,58	0,75	0,77
Peso máximo container + Carga útil (Kg)	23.000	23.000	23.000
Peso do container (Kg)	2.390	2.390	2.390
Carga disponível para 27 m ³ (Kg)	15.660	20.250	20.790
Carga Total (Kg)	18.090	22.640	23.180
Carga útil final (Kg)	15.660	20.250	20.610
Container 29 m ³	Arroz	Milho	Soja
Densidade (t / m ³)	0,58	0,75	0,77
Peso máximo container + Carga útil (Kg)	23.000	23.000	23.000
Peso do container (Kg)	2.170	2.170	2.170
Carga disponível para 29 m ³ (Kg)	16.820	21.750	22.330
Carga Total (Kg)	18.990	23.920	24.500
Carga útil final (Kg)	16.820	20.830	20.830
Aumento de carga útil transportada (Kg)	1.160	580	220

Tabela 5. Ganhos obtidos para cada tipo de grão transportado.

	Projeto convencional (kg)	Projeto com aços microligados (Kg)	Carga adicional admissível (Kg)	Ganho (%)
Arroz	15.660	16.820	1.160	8
Milho	20.250	20.830	580	3
Soja	20.610	20.830	220	1

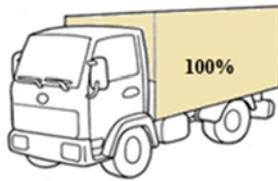
O valor adicional pago pelos novos containers mais leves, de R\$ 2.700,00, deve ser abatido dos ganhos obtidos em cada viagem. Considerando que o custo por viagem é de R\$ 750,00, para o transporte de arroz, foram necessárias apenas 49 viagens para ter retorno do investimento. Para o transporte de milho o retorno do investimento ocorreu com 126 viagens e para a soja com 336 viagens, Tabela 6. Desde o início da operação dos novos conjuntos, não houve o aparecimento de trincas ou deformações nas caçambas.

Tabela 6. Retorno do investimento para os diferentes grãos transportados

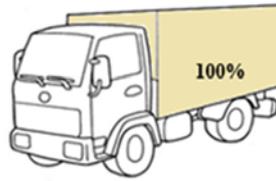
	Carga transportada container convencional (Kg)	Aumento de carga transportada com novo container (Kg)	Número de viagens para se ganhar uma viagem sem custos (Viagens)	Redução de custo de transporte (%)	Retorno do invest. (Viagens)	Retorno do invest. (Dias)
Arroz	15.660	1.160	13,5	7	49	8
Milho	20.250	580	35	3	126	21
Soja	20.610	220	93,6	1	336	56

5 DISCUSSÃO

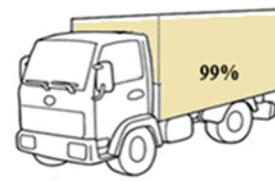
Os maiores ganhos foram obtidos para o transporte do arroz e esses resultados estão diretamente ligados à densidade do grão transportado. A Figura 7 ilustra essas diferenças. O arroz, que apresenta a menor densidade, ocupa todo o espaço dos containers de 27 m³ e 29 m³. Já a soja, com a maior densidade, não ocupa esse espaço, ficando o container de 29 m³ com espaço livre mesmo quando plenamente carregado. Fica claro que, caso cada grão específico pudesse ser transportado em apenas um tipo de container, poderiam ter esses containers desenhados exclusivamente para sua densidade, aumentando a carga transportada. Por exemplo, caso um container fosse destinado unicamente para o transporte de soja, poderia ter o peso mais reduzido caso não tivesse desenhado com aumento de volume, pois a soja não ocupa todo esse espaço. Entretanto, esses containers servem para diversos grãos e não é possível uma otimização caso a caso.

Container de 27 m³

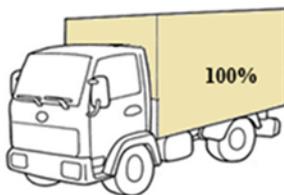
Arroz



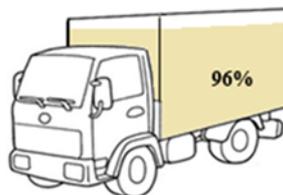
Milho



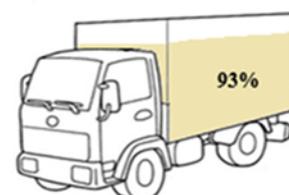
Soja

Container de 29 m³

Arroz



Milho



Soja

Figura 7. Esquema ilustrando o enchimento dos containers pelos diferentes tipos de grãos transportados para os dois volumes considerados.

6 CONCLUSÃO

Com a utilização de aços microligados ao nióbio de elevada resistência, foi possível adotar desenho para os containers com redução de 9,5% do peso e aumento de 7,5% do volume útil.

O aumento do peso das cargas úteis transportadas variou de acordo com a densidade dos grãos. Foi de 8% para o arroz, o grão com a menor densidade, foi de 3% para o milho e de 1% para a soja, aquele que apresenta a maior densidade.

As reduções nos custos de transporte foram de 7% para o arroz, de 3% para o milho e de 1% para a soja.

Durante o período das safras, as quais duram até 4 meses e que consomem cerca de 720 viagens para cada grão, o retorno do investimento para a aquisição do container produzido com os aços microligados foi de 8 dias trabalhados para o transporte do arroz, de 21 dias para o caso do milho e de 56 para o caso da soja.

REFERÊNCIAS

- 1 Maia, G.B.S.; Pinto, A.R.; Marques, C.Y.T.; Lura, D.D.; Roitman, F.B. - Panorama da armazenagem de produtos agrícolas no Brasil. www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/.../rev4005.pdf
- 2 Azevedo, L. et al. Capacidade estática de armazenamento de grãos no Brasil. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, 2008.
- 3 Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. Armazenagem agrícola no Brasil. Brasília: Conab, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/7420aabad201bf8d9838f446e17c1ed5.pdf>. 2013.

- 4 Bhattacharya, D. - Microalloyed Steels for the Automotive Industry, Apresentado no 69 Congresso Anual da ABM, São Paulo, 2014.
- 5 Hausmann, K.; Krizan, D.; Hahn, K.S.; Picher, A. Werner, E. - The influence of Nb on transformation behavior and mechanical properties of TRIP-assisted bainitic – ferritic sheet steels, Materials Science & Engineering, 2013.
- 6 Bleck, W.; Ratte, E. - FUNDAMENTALS OF COLD FORMABLE HSLA STEELS - International Symposium on Niobium Microalloyed Sheet Steel for Automotive Application, Edited by TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2006.
- 7 Silva, E.F.; Stuart Nogueira, M.A. - Aplicação de aços microligados de elevada resistência mecânica na estrutura do protótipo automotivo Fórmula SAE da UNICAMP * - Apresentado no 69 Congresso Anual da ABM, São Paulo, 2014.
- 8 Barreto, J.L.; Rosa, H.L.; Silva, E.F.; Stuart Nogueira, M.A. – Aumento do desempenho no transporte de minério devido a aplicação de aços microligados ao nióbio na estrutura de caçambas de caminhões basculantes, Apresentado no 69 Congresso Anual da ABM, São Paulo, 2014.