

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Gustavo Alves de Mello

**A IMPORTÂNCIA DO NIÓBIO FRENTE À NOVA DEMANDA
DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

TAUBATÉ

2019

Gustavo Alves de Mello

**A IMPORTÂNCIA DO NIÓBIO FRENTE À NOVA DEMANDA
DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso Superior de
Engenharia de Produção Mecânica da
Universidade de Taubaté para a obtenção do
diploma de Engenheiro em Produção
Mecânica.

Orientador: Ivair Alves dos Santos

Taubaté

2019

Gustavo Alves de Mello

**A IMPORTÂNCIA DO NIÓBIO FRENTE À NOVA DEMANDA
DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso Superior de
Engenharia de Produção Mecânica da
Universidade de Taubaté para a obtenção do
diploma de Engenheiro em Produção
Mecânica.

Data: 18 de junho de 2019

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ivair Alves dos Santos

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof. Luiz Carlos Tonini

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

M527i Mello, Gustavo Alves de
A importância do nióbio frente a nova demanda da indústria
automobilística / Gustavo Alves de Mello. – 2019.
38 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.

Orientação: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos, Departamento de
Engenharia Mecânica

1. Aço. 2. Indústria automobilística. 3. Nióbio. I. Título. II. Graduação
em Engenharia de Produção Mecânica.

CDD – 669

Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/0995

“Este trabalho é dedicado aos meus pais, por todo incentivo, carinho, amor e pelos grandes exemplos de luta, perseverança e fé. O caminho de sucesso de um homem começa a ser desenhada pela honrada história de seus pais, logo, minha história de sucesso começou a ser escrita por belas linhas.”

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gratifico todo amor e carinho advindos de meu pai Paulo Rosa de Mello e de minha mãe Maria Odete Alves de Mello. Registro todo o amor e admiração que tenho por essas duas figuras, que são as maiores referências da minha vida, de igual forma, registro meu agradecimento à Ana Helena Rister Andrade, a mulher que me faz enxergar além.

Aos professores que muito contribuíram com minha aprendizagem ao longo de todo o curso. De maneira especial agradeço ao professor Ivair Alves dos Santos, que prestou toda contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos colegas de sala, foram anos de muita dificuldade, mas, sobretudo foram anos de grandes aprendizagens e de um convívio de amizade e respeito, desejo que a amizade alcançada nestes anos possa se perpetuar.

"Na natureza, nada se perde, nada se cria, tudo se transforma".

Antoine Lavoisier

RESUMO

O nióbio foi descoberto pelo inglês Charles Hatchett no ano de 1801, mas passou a ser utilizado na indústria em meados dos anos de 1960. O uso do nióbio foi considerado uma grande inovação para a engenharia em diferentes segmentos, tais como, transporte de petróleo e gás, indústria automobilística, prédios, e dispositivos de diagnóstico médico, logo ganhou grande relevância. Por ser um elemento químico descoberto há pouco mais de 200 anos, suas propriedades específicas continuam sendo matérias de muito estudo, sobretudo na aplicação de aços de nióbio no setor automotivo, a fim de se avaliar os desafios enfrentados pela indústria siderúrgica, visando à obtenção de respostas sobre a melhor forma de se usar o nióbio na produção do setor nos próximos anos. O grande desafio das montadoras de autos nas últimas décadas tem sido a busca pela diminuição do peso final dos automóveis ao mesmo tempo em que é preciso melhorar as questões de segurança por meio do uso de chapas de aço de alta resistência a fim de se garantir o *Crashworthiness*, que é a capacidade de uma estrutura em proteger os seus ocupantes durante um impacto. Dessa forma, os dois grandes objetivos da indústria automobilística são: a redução do peso e o melhor desempenho da segurança no momento do impacto. Na busca por melhorias na segurança dos automóveis para os seus ocupantes, a aplicação do nióbio significa grande avanço, vez que, devido à maior resistência de seus elementos em relação ao aço utilizado pela indústria pode resultar numa maior proteção a vida de motoristas e passageiros. Ademais, frente à redução do peso do veículo, haverá considerável redução no consumo de combustível, refletindo de forma positiva na diminuição da emissão de CO₂ e a melhoria na condução, estes fatores se mostram relevantes, haja vista, a necessidade de se adequar a produção automotiva aos padrões interacionais. A redução do peso do veículo pode chegar a 50%, isso decorre da substituição do aço suave convencional pelo aço micro ligado dotado de maior resistência. Dessa forma, o estudo do aço micro ligado ganha cada vez mais importância e este é o maior

desafio do setor no momento, debater e realizar o estudo dos novos elementos em relação ao nióbio, criando uma grande evolução tecnológica.

Palavras-Chave: Nióbio; indústria automobilística; aço;

ABSTRACT

Niobium was discovered by the Englishman Charles Hatchett in the year 1801, but came to be used in the industry in the mid-1960s. The use of niobium was considered a major innovation for engineering in different segments, such as transportation of oil and gas, automobile industry, buildings, and medical diagnostic devices, soon gained great relevance. As a chemical element discovered just over 200 years ago, its specific properties continue to be studied, especially in the application of niobium steels in the automotive sector, in order to evaluate the challenges faced by the steel industry, in order to obtain answers on the best way to use niobium in the production of the sector in the coming years. The major challenge for automakers over the last few decades has been to reduce the final weight of automobiles while improving safety issues through the use of high strength steel plates to Crashworthiness, which is the ability of a structure to protect its occupants during an impact. In this way, the two major goals of the automotive industry are: weight reduction and improved safety performance at the time of impact. In the search for improvements in car safety for its occupants, the application of niobium means a great advance, since, due to the greater resistance of its elements in relation to the steel used by the industry can result in a greater protection of the life of drivers and passengers. In addition, in light of the reduction of vehicle weight, there will be a considerable reduction in fuel consumption, reflecting positively the reduction of CO₂ emissions and the improvement in driving, these factors are relevant, given the need to adapt the production to interactive standards. The reduction of the weight of the vehicle can reach 50%, this is due to the substitution of the mild steel conventional with the microalloyed steel endowed with greater resistance. Thus, the study of microalloyed steel is increasingly important and this is the biggest challenge of the sector at the moment, to discuss and carry out the study of the new elements in relation to niobium, creating a great technological evolution.

Keywords: Niobium; Auto Industry; steel;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Carroceria de um automóvel	20
Figura 2 – Carroceria de automóvel Volkswagen	23
Figura 3 – Dados sobre o aço nióbio	25
Figura 4 – Efeito da temperatura na adição de 0,026% Nb	30
Figura 5 – Dados de CO ² produzidos de automóveis em varias partes do mundo ..	31
Figura 6 – Modelos futuros da CBMM	33
Figura 7 – Modelo CBMM caçamba feita de ARBL	33
Figura 8 – Diagrama de equilíbrio para o sistema Nb-H ₂ O	34
Figura 9 – Comparação de resistência à corrosão do Nb	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Reservas oficialmente aprovadas de nióbio (*em ton.)	25
Tabela 2 – Total de capacidade de produção da Empresa CBMM	26
Tabela 3 – Estatísticas do Brasil referentes ao nióbio	27
Tabela 4 – Propriedades físicas do nióbio	27
Tabela 5 – Propriedades mecânicas do nióbio	28
Tabela 6 – Dados de corrosão do Nb em meios aquosos	35

LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS

FMVSS	FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARDS
ULSAB	THE ULTRALIGHT STEEL AUTO BODY
ARBL	AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA
FeNb	LIGA FERRO-NIÓBIO
Nb	NIÓBIO
DNPM	DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL
Nb-Fe	LIGA NIÓBIO-FERRO
AVC	ADVANCED VEHICLE CONCEPTS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
1.2. OBJETIVOS.....	17
1.3. JUSTIFICATIVA.....	17
1.4. PROPOSTA METODOLÓGICA.....	17
1.5. APORTE TEÓRICO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	18
2.1. NIÓBIO	18
2.2. INDÚSTRIA AUTOMOBILISTICA.....	19
2.3. AÇO.....	19
2.4. MANUTENÇÃO	20
3. METODOLOGIA E AÇÕES	22
4. RESULTADOS	34
CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em meados do século XX, o geólogo Djalma Guimarães fez a descoberta da maior mina de pirocloro na região do Barreiro, município de Araxá-MG, nela havia uma mina de nióbio, trata-se da maior concentração de nióbio encontrada até o momento em todo o mundo. Alguns anos mais tarde, o mundo acompanhou o início da corrida espacial impulsionada por Estados Unidos e Rússia, com o crescimento da indústria aeroespacial houve grande demanda no consumo de nióbio.

Em 1955 a CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração) iniciou suas atividades no Brasil e dez anos depois (1965), o banqueiro Walther Moreira Salles passou a investir no mercado de nióbio. Entre os anos de 1959 e 1965, a companhia desenvolveu uma técnica inovadora de concentração de nióbio nas ligas entre 2,5% até 60% e passou a utilizá-la em grande escala, principalmente na indústria siderúrgica (WIKIPÉDIA, 2019).

No início da década de 1970, a companhia americana, Anglo American inaugurou suas instalações instalou no Brasil e no ano de 1979 teve início a implantação da mina de Niquelândia, no estado de Goiás (WIKIPÉDIA, 2019).

Atualmente, são três as indústrias instaladas no país: a CBMM, a Anglo American Ltda. (Mineração Catalão Goiás) e a Mineração Taboca (Grupo Paranapanema). O Brasil concentra em seu rico solo aproximadamente 98% de toda reserva mundial, num total de 842,46 milhões de toneladas. (WIKIPÉDIA, 2019).

As jazidas locais encontram-se de forma mais abundante nos estados de Minas Gerais (75%), Amazonas (21%) e em Goiás (3%).

As características próprias do nióbio e as que são ligadas a outros materiais geram uma solução a procura de benefícios tecnológicos, quando se é adicionado uma quantidade mínima (variando de 300 g a 1200 g por tonelada) como resultado há o aumento da resistência e tenacidade do aço, bem como a presença de estruturas mais leves capazes de criar uma maior eficiência energética e adequação no meio ambiente.

O grupo de aços microligados formam materiais de alta resistência e baixa liga (ARBL), e são compostos por carbono, silício e manganês, entretanto, outros

elementos se fazem presentes, tais quais: o nióbio, o titânio, o zircônio, o vanádio e o boro, estes, no entanto, são adicionados àqueles.

Com o crescimento do setor automobilístico, a indústria siderúrgica passou a realizar pesquisas no que tange ao design dos autos, pois com a grande concorrência do setor é preciso ofertar um serviço mais qualitativo, a título de exemplo: a garantia de um produto de qualidade contra a corrosão.

Nos anos de 1970, o FMVSS (Normas Federais de Segurança de Veículos Automotores), em decorrência do grande número de desastres automobilísticos, passou a introduzir o aço de alta resistência em peças de automóveis, inicialmente em para-choques, reforços de portas e suportes.

Ainda durante a década de 1970, no Japão, houve a instalação do processo de recozimento contínuo, com o sucesso do experimento obteve-se a melhora na qualidade das chapas de aço automotivas produzidas em grande escala. Desde então, o objetivo fulcral das montadoras passou a ser a redução do peso do veículo automotor, mais leve, os automóveis ganhariam mais eficiência com relação ao consumo de combustível, estes fatores garantiriam maior segurança ao cliente final do produto, quais sejam: motoristas e passageiros.

As diversas áreas do setor industrial contam com as complexas características do aço, enquanto insumo, como a geometria e da alta precisão dimensional, além de uma grande resistência mecânica, assim criando uma redução na economia do combustível visando obter à redução da emissão de gases poluentes na atmosfera, fator de grande preocupação de toda sociedade contemporânea.

Ressalta-se que por meio do uso do aço ARBL microligado ao nióbio é possível identificar a oportunidade na redução de peso dos veículos e a quantidade de CO₂ que é despejada na atmosfera.

O aço se tornou um elemento essencial na produção industrial e isso demanda uma melhor qualidade na sua produção, para tanto, projetos que visam estruturas de carroçarias mais leves, foram criados, a título de exemplo, cita-se o ULSAB (Corpo automotivo de aço ultraleve). Estes projetos mostram uma combinação de design inovador com processos de fabricação modernos, que seguem um modelo de qualidade e desempenho, com enfoque total na resposta dinâmica, segurança dos motoristas e passageiros, bem como o maior controle na emissão de gases e poluentes na atmosfera terrestre.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo central deste trabalho é discorrer sobre as transformações que o setor industrial vive em decorrência da consolidação do uso do aço e constante estudo do elemento nióbio no setor automobilístico, bem como demonstrar mediante dados o uso do nióbio no futuro, haja vista, não haver dúvidas quanto a sua permanente utilização.

1.3. JUSTIFICATIVA

A justificativa deste projeto decorre da urgência da indústria automobilística em apresentar projetos que garantam uma maior qualidade em conjunto com uma boa segurança aos seus usuários e a redução dos gases poluentes, visando a devida e correta proteção do meio ambiente.

O nióbio chegou para transformar a indústria, vez que, seu uso reflete diretamente na economia e segurança do setor automobilístico, bem como nos demais setores da economia global.

Por ser o Brasil, o maior extrator de nióbio do globo terrestre, resta justificável a escolha pelo tema e demais estudos capazes de prestar melhorias.

1.4. PROPOSTA METODOLÓGICA

O presente trabalho realizou uma pesquisa bibliográfica pormenorizada tendo como base de busca os temas: Nióbio, Indústria automobilística e Aço. Como fonte, a pesquisa se imiscuiu em livros, apostilas, e artigos postados na Internet como elementos essenciais para o entendimento e aprofundamento do tema em comento.

1.5. APORTE TEÓRICO

As jazidas brasileiras ganharam grande repercussão na mídia mundial por conta da grande concentração do mineral em solo nacional, muitos artigos também dão relevância ao tema, mas foi à obra “Nióbio: o Brasil no Topo”, da autora Maria Lucia Amarante Andrade, o grande norteador deste projeto.

Trata-se de um artigo que denota a grande importância do potencial do metal e o seu pouco aproveitamento pelo estado brasileiro, que não estaria se aproveitando 100% dessa matéria-prima.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Como embasamento do presente trabalho foram utilizados publicações de trabalhos e artigos que tratam do minério nióbio, bem como suas aplicações na indústria, questões inerentes ao meio ambiente e de segurança, manutenção, avaliações técnicas das propriedades mecânicas e químicas do material.

2.1. NIÓBIO

A descoberta do nióbio é atribuída ao britânico Charles Hatchett, no ano de 1801, quando ele examinou uma amostra de columbita, que havia chegado dos Estados Unidos. No entanto, fato semelhante ocorreu em 1844, quando o alemão Heinrich Rose acreditou ter descoberto um novo elemento químico enquanto realizava o estudo do minério vanadita, o minério recebeu o nome de niobium. No ano de 1950 recebeu o nome oficial de Nióbio, Nb na tabela periódica (BERRAHMOUNE, 2004).

Em comparação com o ferro, o nióbio tem um ponto com uma temperatura de 933°C maior, por isso mesmo, este tem maior destaque que aquele no se refere aos materiais refratários, vez que, com um ponto de temperatura maior seu uso em equipamentos e serviços com alta temperatura se torna possível, com por exemplo: em turbinas de aeronaves. No que tange a materiais inoxidáveis, ductilidade, leveza e resistência o nióbio também tem grande destaque.

Ressalta-se que o nióbio também tem enorme relevância como elemento de liga na melhoria das propriedades em produtos de aço, principalmente em aços com grau elevado de resistência e baixa liga que são usados na industrialização de tubulações usados na transmissão de gás e veículos automotores.

A matéria também é comumente usada em turbinas que operam em altas temperaturas em turbinas de aeronaves a jato, além de ser incorporado ao aço inoxidável utilizado em escapamentos de automóveis, em ligas supercondutoras de nióbio-titânio utilizadas no fabrico de magnetos para tomógrafos de ressonância magnética.

O nióbio pode ser encontrado ainda na utilização em cerâmicas eletrônicas e em lentes para câmeras.

2.2. INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Segundo Womack et al., (1990), devido ao expansionismo das montadoras automobilísticas, sobretudo a japonesa, em meados da década dos anos de 1970, o setor sentiu a necessidade de uma mudança, nesse sentido, a forma industrial criada pela Toyota revolucionou o setor.

Na década seguinte teve início o processo de difusão de diversos sistemas, consoante o toyotista de produção e por novas técnicas de produção flexível.

Com a criação de uma produção mais flexível abriu-se oportunidades para novos métodos na indústria produtora de veículos automotivos, bem como em seus processos e produtos (WOMACK, 1990; VICKERY, 1996; FREEMAN, SOETE, 1997).

No final do século passado, mas precisamente nos anos de 1990 a competitividade entre as montadoras atingiram índices jamais vistos e em nome da forte concorrência acrescentada ao avanço tecnológico o setor passou por uma grande mudança.

Nesse sentido: “Mesmo que a concorrência na indústria automotiva não possa ser qualificada de preocupante, ela tem sido sem dúvida, severa” (FUJIMOTO, 1996; TAKEISHI, 2001).

2.3. AÇO

Trata-se de uma liga metálica composta essencialmente por ferro e carbono, tendo este último uma percentagem que pode variar entre 0,008 e 2,11%. Difere do ferro fundido, que também é uma liga de ferro e carbono, porém com proporção de carbono acima de 2,11%. Por sua vez, o carbono se configura por ser um material muito utilizado nas ligas de ferro, entretanto varia com o uso de outros elementos como: magnésio, cromo, vanádio e tungstênio (CHIAVERINI, 1986). O carbono, assim como os outros elementos químicos agem com o agente de resistência, prevenindo o deslocamento em que um átomo de ferro em uma estrutura cristalina passa para outro (ASHBY et al., 1992).

Destarte, a diferença fundamental entre ambos é que o aço, devido a sua ductilidade, pode ser facilmente deformável pelo trabalho de forja, laminação e extrusão, enquanto que uma peça em ferro fundido é muito frágil para estes processos.

A Revolução Industrial foi um marco para o determinismo do que é fronteira entre o ferro e o aço, pois com a criação de fornos foi possível corrigir as impurezas do ferro, bem como adicionar-lhes propriedades mais resistentes ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc.

Exatamente por conta dessas propriedades e do baixo custo do aço, este passou a representar aproximadamente de 90 % de todos os metais consumidos no processo industrial.

Segundo dados do Instituto Aço Brasil (2011), não se pode mais imaginar a humanidade sem o aço, este processo é irreversível. A produção de aço passou a ser considerado como um grande indicador de desenvolvimento econômico de um país, haja vista, que seu consumo cresce à medida em que aumentam as construções de prédios, a construção de obras públicas, investimento nos meios de comunicação e produção de equipamentos, ou seja, o desenvolvimento de país está intrinsecamente ligado ao consumo do aço.

Esses materiais passaram a integrar o cotidiano, no entanto, a sua produção exige uma técnica apurada que deve ser permanentemente renovada, por isso mesmo, há um investimento constante das siderúrgicas em trabalhos de pesquisas. O início e o processo de aperfeiçoamento do uso do ferro representaram grandes desafios e conquistas para a humanidade.

O aço pode ser empregado em múltiplas formas, incluindo os utensílios domésticos, sendo encontrado em restaurantes, cozinhas industriais, hospitais, laboratórios, empresas em geral e nos lares, pois como supracitado, conta com a resistência adequada para os mais variados moldes.

Consoante Arlazarov (201), entre as propriedades do aço estão à resistência a baixas e altas temperaturas, superfície que evita o acúmulo de resíduos, composição química que o impede descascar, longa durabilidade e baixo custo de manutenção.

2.4. MANUTENÇÃO

Segundo Berrahmoune (2004), a manutenção tem o escopo de reparar ou repor algo que fora inutilizado ou está em mau funcionamento, reparando os danos para que volte a desenvolver a função inicialmente planejada. A segurança é uma certeza, não havendo espaço para possibilidades, ou seja, significa algo concreto, indubitável, livre de qualquer incerteza e perigo. Os elevados níveis de resistência

resultante da aplicação do nióbio garantem um potencial para absorção de energia, importante variável em uma situação de acidente.

A correlação entre a resistência à tração e a absorção de energia configura-se como uma medida muito importante para determinar o potencial. A título de exemplo, cita-se: para o esmagamento axial de um tubo quadrático a energia absorvida depende do calibre e da resistência à tração.

Segundo Schaeffer (2004), não é frequente a resistência à fadiga estar relacionada à resistência do material, assim a utilização de aços de alta resistência micro ligados pode determinar diversos aspectos, como o design inteligente. O autor ressalta que é de grande relevância para o setor industrial o uso de aços ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga). Também existe a possibilidade do uso em peças de conformação severas, tal qual ocorre com a estampagem profunda. Nos testes de *Crash* percebe-se que há uma influência direta, haja vista, que decorre da alta resistência, além do baixo peso na carroceria.

Um sistema de conjunto formado pelos elementos naturais e artificiais interligados entre si e para si podem ser transformados pela ação humana a ponto de afetar o modo de vida de toda sociedade, valores naturais, sociais e culturais que existem em um lugar e tempo. O nióbio em sua aplicação ao aço aumenta a soldabilidade e a capacidade de conformação em aço inoxidável, dessa forma, pode ser utilizado em sistemas de escapamentos de veículos, bem como em outras aplicações. Simultaneamente a esse processo, a resistência e a tenacidade do aço aumentam, criando assim estruturas mais leves que contribuem com o aumento da segurança dos automóveis, em caso de colisão (SILICIANO, 2006).

3. METODOLOGIA E AÇÕES

Para que o objetivo final fosse alcançado foram apresentadas matrizes de nióbio metálico para comprovar a eficácia do material na indústria automobilística em busca da melhoria nos automóveis produzidos (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, 1999).

Isso decorre do seguinte fato: o design leve e a redução de peso do corpo, por vezes não podem ser aferidos em quilogramas, bem como deve estar relacionado com a dimensão do veículo e as condições funcionais alcançados. Estas condições para a rigidez, acidente e tempo de vida útil do veículo devem ser levados em conta ao determinar os materiais para o corpo de um automóvel.

A rigidez de uma estrutura pode sofrer ação do módulo e a espessura. Já as demandas de tempo de frenagem do veículo, que são conduzidas pela força do material, podem ser influenciadas por aços de alta resistência.

Acerca dos efeitos do nióbio adicionado ao aço:

O nióbio é um elemento microligante eficiente para o aço. A adição deste elemento químico ocasiona a formação de carboneto de nióbio e do nitreto de nióbio dentro da estrutura do aço. Estes compostos melhoram o refinamento do grão, retardam a recristalização e o endurecimento por precipitação do aço. Estes efeitos por sua vez aumentam à resistência, força, conformabilidade e soldabilidade das microligas de aço (Patel; Khul'ka, 2001 apud WIKIPÉDIA).

Segundo Heisterkamp e Carneiro (2001), as microligações de aços inoxidáveis têm um teor de nióbio inferior a 0,1%. Trata-se de uma liga de grande relevância para o aço de alta resistência e baixa liga que é muito empregada na indústria automobilística por conta da sua grande resistência (Patel; Khul'ka, 2001 apud WIKIPÉDIA).

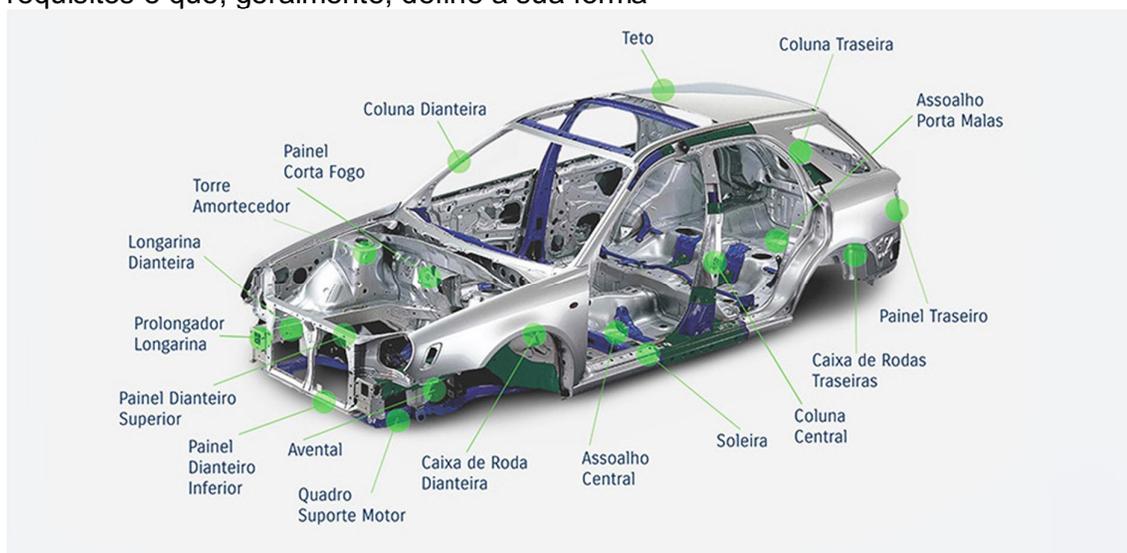
A adição do nióbio no aço apresenta outro aspecto de grande relevância para o mercado automotivo num aspecto mais restrito, e de forma mais ampla para toda a sociedade, vez que, reduz a emissão de CO₂ na atmosfera.

Nesse sentido:

Ambientalmente é positivo, pois menos aço utilizado resulta em menos emissão de CO₂. A adição de nióbio reduz a porcentagem de carbono no aço, melhorando sua capacidade de soldabilidade; Também atende às exigências legais quanto a terremotos e incêndios. Exemplo dessas estruturas são as torres eólicas e de transmissão, os trilhos e rodas ferroviários, construção de navios e plataformas marítimas de petróleo, pontes, edifícios e aeroportos (WIKIPÉDIA).

O trabalho irá mostrar as condições primordiais de design funcional de um corpo de automóvel, assim como o desenvolvimento da aplicação do aço, devido à adição do nióbio, utilizado na produção de carros, podendo gerar enormes melhorias para a indústria automobilística, bem como ao consumidor final.

Figura 1 - Carroceria de um automóvel, sua estrutura que envolve todos os seus requisitos e que, geralmente, define a sua forma



Fonte: Monolito Nimbus (2014)

O mercado automobilístico é muito exigente, e isso se deve a grande concorrência acentuada nas últimas décadas, no entanto, alguns requisitos têm mais relevância para o mercado produtor e para o mercado consumidor, tendo maior destaque os requisitos funcionais, tais como:

- Dinâmicas de condução,
- Eficiência de combustível;
- Segurança passiva;
- Conforto;
- Qualidade;
- Estilo.

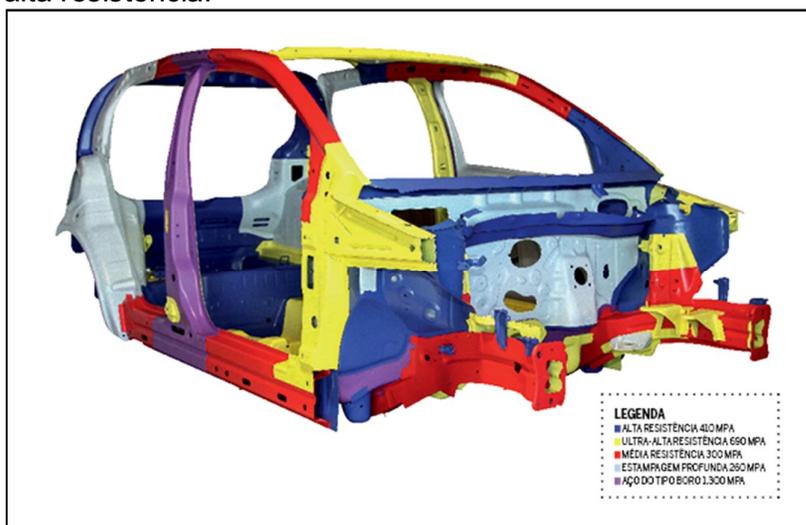
Segundo a Society Of Automotive Engineers (2014), os requisitos funcionais devem ser considerados durante o processo de conceptualização do design do carro. O constante aumento das exigências do mercado que resulta em normas e regulamentos mais rigorosos, acrescida da grande concorrência entre as montadoras acabam alavancando a corrida por métodos inovadores. No entanto,

observa-se que, para que se cumpra com os requisitos funcionais, é indispensável que o automóvel seja projetado com alto grau de força para a segurança passiva, bem como boa rigidez dinâmica para conforto, além de boa rigidez estática.

A estrutura do veículo automotor deve obter um baixo centro de gravidade, no entanto, para que isso seja alcançado é preciso que ele seja mais conceituado. Dessa forma, deve ter uma distribuição de carga de 50% entre a frente e eixos traseiros, bem como um peso geral mínimo do veículo.

Também, é necessário levar em consideração as técnicas com a integração de aços com maior resistência, a fim de se obter uma vida útil maior (resistência à corrosão e à fadiga). É o que demonstra a figura a seguir:

Figura 2 - Carroceria de um automóvel com aços de variações de tipos de aços de alta resistência.



Fonte: Revista Auto Esporte (2014)

Pode-se chegar ao corpo de um automóvel por diversos meios tendo um peso leve e resistente. Para tanto, dois passos devem ser seguidos, primeiro: a engenharia com um peso leve do automóvel será alcançada por meio das exigências de conforto, design, considerações de montagem e dimensão do automóvel.

Como passo seguinte, a produção de construção leve que se entende como a economia de peso mediante uso de tecnologias de formação alternativas, como por exemplo, formação de hidromassagem, formação de rolos ou outra especial.

No entanto, existem outras possibilidades, como o uso de material com peso mais leve, haja vista, que o uso desses materiais podem ter um ganho substancial no que diz respeito ao peso mais leve, os materiais mais propícios são: o aço de alta

resistência, Outras possibilidades é o peso leve do material, pode ser significativamente reduzido usando aços de alta resistência, o alumínio e os plásticos.

Outras opções podem ser usadas no processo, no entanto, trata-se de materiais altamente sofisticados, geralmente usados na indústria aeroespacial, o exemplo mais claro é a fibra em carbono.

Nesse sentido, Wickert (2011), afirma que: “neste processo incidirá sobre a construção leve usando aço de alta resistência, aço multifase e alumínio. Depois de toda a engenharia leve, deve ser considerada sob o aspecto de tempo e custo”.

Segundo dados da SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (2014), por mais de uma década, a indústria siderúrgica mundial manteve um trabalho em conjunto com especialistas em design, bem como com os líderes de material automotivo entender e se melhor se posicionar dentro da nova realidade do mercado automotivo, que, repisa-se sofreu grandes transformações nas últimas décadas.

A grande concorrência que se consolidou no mercado automobilístico fez com que as montadoras primassem pela produção mais qualitativa de seus carros, e nesse cenário a maior durabilidade do seu produto é um dos fatores fundamentais em atendimento às expectativas do mercado consumidor.

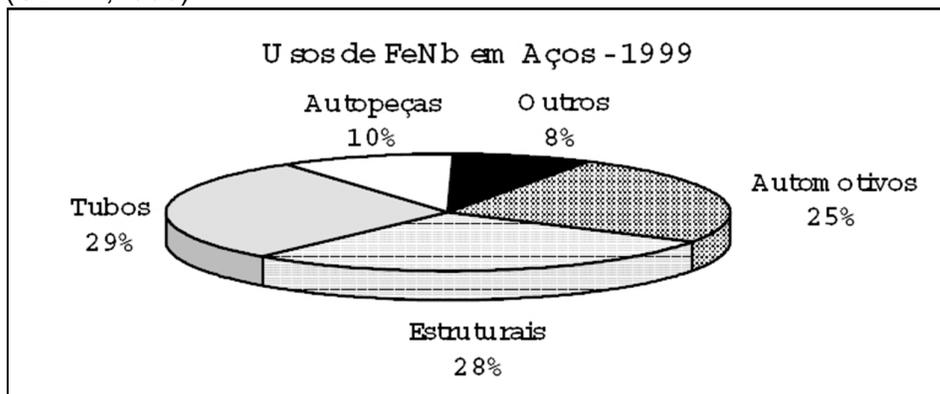
A corrosão é um dos grandes vilões da indústria automotiva, bem como a de proprietários de veículos, pois a exposição ao tempo e a outros elementos acaba desgastando o material empregado na fabricação do automóvel. Dessa forma, as montadoras investiram em alternativas contra a corrosão, focando maior atenção na qualidade da superfície, sem, contudo, deixar de lado o estilo, já que este é outro fator de grande relevância para o setor.

Importante anotar que foi na década dos anos de 1990 que a demanda pelo aço de alta qualidade aumentou consideravelmente, a partir de então, as siderúrgicas passaram a investir pesadamente em equipamentos e tecnologia, a fim de se obter a melhoria exigida pelo mercado.

Esse fator contribuiu para a formação de consórcios da indústria siderúrgica que propiciaram novos investimentos em projetos que visem estabelecer estruturas de auto-corpo de ponderação econômica.

A figura a seguir mostra que a utilização FeNB em aços vem aumentando muito nos últimos anos. Os dados são a da CBMM.

Figura 3 - Dados sobre o uso de aço micro ligado ao nióbio a partir de 1999 (CBMM,1999)



Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS- Mineral Commodity Summaries–2015; International Aluminium Institute (IAI); Associação Brasileira do Alumínio (ABAL).

Segundo Leite (1988), a formação do nióbio na natureza tem a forma de colombita-tantalita, ou associada à carbonatitas de maciços alcalinos, vindo do mineral pirocloro tantalita, este é encontrado em maior abundância. O DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral) aprovou algumas reservas nacionais que estão inseridas com nióbio, totalizando uma grande área extrativa. Grande parte destas reservas encontra-se nos estados de Minas Gerais, Amazonas e Goiás, como citado anteriormente. A tabela a seguir traz as reservas brasileiras regularizadas pelo DNPM:

Tabela 1 - Reservas oficialmente aprovadas de nióbio (*em ton.)

Total das Reservas Oficialmente Aprovadas de Nióbio (Pirocloro) – 2000						
UF	Medida			Indicada	Inferida	Total
	Minério	Contido em Nb ₂ O ₅	Teor (%)			
MG	168.244.052	3.145.205	1.87	56.023.406	189.316.418	413.583.876
AM	38.376.000	1.093.716	2.85	200.640.000	2.658.892.800	2.897.908.800
GO	5.867.523	63.327	1.08			5.867.526
Total	212.487.575	4.302.248	2.02	256.663.406	2.848.209.218	3.317.360.202

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS- Mineral Commodity Summaries–2015; International Aluminium Institute (IAI); Associação Brasileira do Alumínio (ABAL).

Como mencionado anteriormente, o Brasil é o maior extrator e ofertante de nióbio na cadeia mundial de produção que chega a 90% de toda a produção mundial, nesse cenário a CBMM e a empresa canadense Cambior são as que mais ativas no processo de extração do mineral.

Embora, o nióbio tenha conquistado grande relevância no cenário nacional, chamando a atenção de empresas mineradoras e do governo, o minério ainda é um elemento pouco pesquisado e desconhecido da grande maioria da população.

Segundo Gorni (2009), a CBMM concentra 85% do total da produção nacional de nióbio, totalizando aproximadamente 50 mil toneladas por ano.

A tabela a seguir apresenta o nível de capacidade de produção da companhia. Estima-se que as reservas nacionais são suficientes por mais de dois séculos seguindo a demanda atual.

Tabela 2 - Total capacidade de produção da empresa CBMM.

<i>Unidade Industrial</i>	<i>Capacidade (ton/ano)</i>	<i>Processo</i>	
Concentração	84.000	Flotação	
Refino do concentrado	75.000	Pirometalurgia	
Britagem e Empacotamento	45.000	Automatizado	
Produtos	Óxido - alta pureza	3.000	Processo Próprio
	Óxido – grau ótico	250	Processo Próprio
	Ferronióbio	45.000	Redução Aluminotérmica - Forno Elétrico
	Ligas Grau Vácuo	2.000	Redução Aluminotérmica - Reator Aberto
	Nióbio Metálico	210	Forno de Feixe de Elétrons

Fonte: DNPM/DIPLAM (2015)

O nióbio brasileiro tem destino certo, sendo que a maior parte segue para os países da União Europeia, para o mercado asiático e Estados Unidos. Os maiores consumidores do minério extraído no Brasil são: Japão, Holanda, Estados Unidos e China.

No entanto, mesmo o Brasil sendo o líder mundial do nióbio, com quase toda totalidade mundial, o país importa produtos semimanufaturados de ferro-nióbio que são fornecidos pela Rússia, África do Sul, Suécia, Áustria e Reino Unido. Segundo Helman (2010), o Brasil importou cerca de 5t de ferro-nióbio. É o que demonstra a tabela abaixo:

Tabela 3 - Estatísticas do Brasil referentes ao Nióbio.

Discriminação		2001 ⁽¹⁾	2002 ⁽¹⁾	2003 ⁽¹⁾
Produção:	Concentrado(1) (Nb ₂ O ₅ contido) (t)	37.652	39.520	37.707
	Liga Fe-Nb(2) (t)	24.864	24.174	24.875
	Óxido de Nióbio (t)	2.632	7.421	5.064
Exportação:	Liga Fe-Nb(2) (t)	18.339	18.405	21.710
	(103 US\$-FOB)	242.024	237.595	273.452
	Óxido de nióbio (t)	903	217	340
Importação:	(103 US\$-FOB)	13.986	4.158	5.860
	Liga Fe-Nb(2) (t)	0	5	0
	(103 US\$-FOB)	0	41	0
Consumo Aparente:	Liga Fe-Nb(2) (t)	6.525	5.774	3.165
	Óxido de Nióbio (t)	1.729	7.204	4.724
Preço Médio *:	Liga Fe-Nb(2) (US\$/t-FOB)	13.197	12.909	12.596
	Óxido de nióbio (US\$/t-FOB)	15.488	19.161	17.235

Fontes: DNPM/DIPLAM; MDIC/SECEX e LME (2003).

As propriedades do nióbio possuem valor de ponto de fusão de 2468°C (como um metal refratário), considerado um alto valor. É incluído no grupo do tântalo e vanádio, tendo menor densidade (8,55 g/cm³).

A seguir serão apresentadas duas tabelas (4 e 5), que mostrarão as propriedades do nióbio, que apresenta numeração atômico 41, a cor cinza e após passar pelo processo de polimento lembra a platina. Com a estrutura cúbica e corpo centrado (CCC) o nióbio passa a ser puro e dúctil (GONÇALVES, 2003).

Tabela 4 - Propriedades físicas do nióbio

Número atômico	41
Peso atômico	92,91
Volume atômico (cm ³ /g-atomo)	1,47
Densidade a 20°C (g/cm ³)	8,55
Estrutura cristalina	ccc
Parâmetro de rede a 20°C (Å)	3,294
Ponto de fusão (°C, F)	2468, 45
Ponto de ebulição (°C)	5127
Calor específico a 15°C (J.g ⁻¹ .°C ⁻¹)	0,268
Condutividade térmica a 0°C (J.cm ⁻¹ .s ⁻¹ . °C)	0,523
Coefficiente de expansão linear (°C ⁻¹)	6,8-7,0 x 10 ⁻⁶
Calor de sublimação a 20°C (K.cal/g-atomo)	170,9
Calor de combustão a 20°C (cal/g)	2379
Resistividade elétrica a 20°C (μΩ.cm)	13,2-14,8
Choque para neutros térmicos (barns)	1,1

Fonte: Sumário Mineral/DNPM (2003)

Tabela 5 - Propriedades mecânicas do nióbio

Módulo de elasticidade (GPa)	1,034
Coefficiente de Poisson	0,38
Dureza (HV)	77-170
Tensão de escoamento (MPa)	100-275
Limite de resistência à tração (MPa)	170-550
Alongamento (%)	15-40

Fonte: Sumário Mineral/DNPM (2003)

Em busca de melhores resultados na produção de aço, passou-se a adicionar o nióbio, e o pioneiro deste processo foi o *Ultra Light Steel Auto Body* (ULSAB). Este programa contribuiu com a consolidação do uso do nióbio na produção de aço, vez que, foi este programa que convenceu a indústria automobilística de que o nióbio adicionado ao aço traria uma maior resistência com design inovador e processos de fabricação modernos.

Em nome da melhoria contínua esses drivers continuam dando maior enfoque na qualidade e no desempenho, no entanto, outros componentes de extrema importância no processo de gestão, merecem igual atenção: redução nos custos, segurança dos usuários de veículos automotor, desempenho dinâmico, controle de emissões e outras preocupações ambientais.

O acelerado crescimento no desempenho e aplicação de aços ULC na construção de carrocerias foi uma resposta positiva em meio a um mercado em constante transformação que exige em constante processo de aperfeiçoamento e inovação dos setores da economia global. Nesse cenário, as montadoras automotivas empregaram o nióbio no revestimento do aço, em atendimento a demanda do mercado consumidor no que tange à necessidade de um produto que tenha maior resistência à corrosão.

As chapas produzidas com aços de alta resistência é a maior conquista da siderurgia frente aos novos desafios do mercado, haja vista, a acirrada competição existente na economia global, bem como o alinhamento com as demandas ambientais, um ponto fulcral para humanidade que busca no debate diário medidas de maior proteção ao meio ambiente.

Nesse sentido, a indústria automobilística tem uma peculiaridade especial, haja vista, que há uma latente necessidade de se buscar a redução do peso do automóvel para conseqüentemente consumir menos combustível, reduzindo, dessa forma, os custos e os danos causados pelo uso do produto para a natureza.

Chapa mais fina de aço com maior resistência mecânica permite a redução do peso das peças, preservando as suas características primárias. Não obstante, há situações em que o aumento da resistência causa a diminuição da conformabilidade da matéria, o que afeta a liberdade de design. A indústria automobilística encontrou a solução para esse problema, trata-se da aplicação de efeitos de microestruturas complexas que conciliam, dentro da possibilidade, tais propriedades aparentemente contraditórias.

Aços com tiras galvanizadas foram utilizados na aplicação de superfícies críticas, no entanto, o alto custo da matéria tornou o método inviável para o setor automobilístico, além do revestimento suave de zinco/níquel causar grande preocupação no setor durante a fabricação ou uso do material.

Devido à exigência do mercado, houve a necessidade de se fazer uso de aços revestidos de zinco com incrustações quentes processadas de forma contínua que ofereciam uma melhor combinação de formabilidade, acabamento superficial de excelente qualidade e livres de problemas com soldabilidade. Também pode observar uma boa proteção contra corrosão.

Os produtores e fornecedores de chapas de aço, buscando o atendimento da nova demanda do setor automobilístico não pouparam investimento em tecnologia, mão de obra e ampliação nas instalações, com foco total no fornecimento de aços ULC com alto desempenho.

Ao final da década de 1950, tiveram início os estudos acerca dos efeitos do micro-adições de V, Ti e Nb nas propriedades mecânicas de aços de baixo carbono. Esses efeitos causaram grande transformação para o processo siderúrgico, vez que, possibilitou o desenvolvimento de tratamentos termomecânicos que geram a obtenção de aços que apresentam uma microestrutura com alto grau de refino.

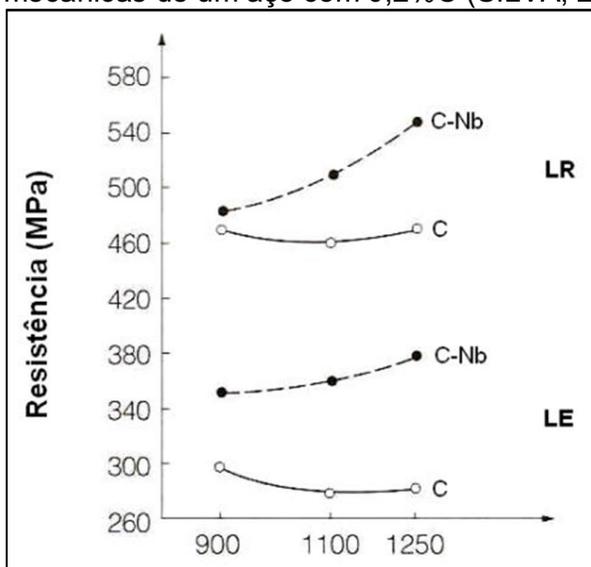
A intensa diminuição no porte de grão permite o aumento da resistência mecânica e a tenacidade da chapa, reduzindo os teores de componentes de liga do aço, principalmente o do C. Esse fato é de grande cabimento para o produto, vez que, apresenta excelente resultado na soldabilidade, o que denota uma expressiva redução nos custos de produção das estruturas.

A figura a seguir mostra que os elementos de microliga podem propiciar o endurecimento por precipitação, elevando a resistência mecânica da chapa. Esse efeito decorre da precipitação interfásica das partículas finas durante a

transformação da austenita durante o processo de resfriamento que é feito tão logo termine o processo de laminação a quente ou o tratamento térmico.

Não obstante, nesta situação ocorre a perda de tenacidade. Quanto aos aços submetidos ao processo de laminação a frio, os componentes de microliga desaceleram os processos de recristalização e crescimento de grão que ocorrem durante o recozimento das bobinas laminadas a frio.

Figura 4 - Efeito da temperatura na adição de 0,026%Nb nas propriedades mecânicas de um aço com 0,2%C (SILVA, 2006). Aço com Nb (C-Nb) e sem Nb(C).



Fonte: Sumário Mineral/DNPM (2016)

Denota-se que a evolução bem sucedida e a utilização difundida de aços ULC, tornaram-se possível por conta da consequente compreensão das empresas que produzem o aço e do processamento de métodos que permitem um processo mais viável economicamente.

Levando os fundamentos metalúrgicos, que foram cobertos em apresentações anteriores, por certo, o detalhe mais relevante para a audiência atual refere-se à compreensão da adição do titânio e nióbio para estabilizar o nitrogênio e o carbono nos aços ULC (SPINACE, 2003).

Há um particular interesse na opção pelo uso de uma composição estabilizada dupla na produção de aços ULC galvanizados, assados ou de maior resistência.

Grande parte dos produtores de aços adicionados ao nióbio oferta uma gama variável de titânio altamente estabilizados com titânio/nióbio, que também apresentam um maior grau de resistência, pois contam com a adição de outros

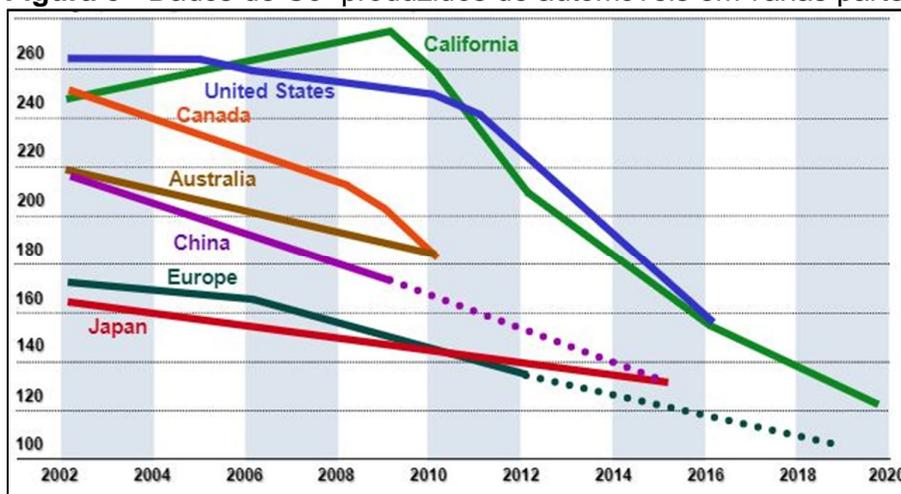
minérios, tais como: manganês, fósforo, silício ou boro como um reforço de solução sólida de elementos para fornecer tira com níveis de estresse de prova que variam entre 0,2% e 300 Mpa.

Segundo Rossitti (2000) e Dulieu (2002), a adição de nióbio em alguns tipos de aços inoxidáveis apresenta resultados positivos, a título de exemplo, cita-se: na maior resistência à corrosão, na soldabilidade, no refino de grão e no aumento da resistência mecânica.

A adição de nióbio enquanto elemento de liga em aço inoxidável permite uma maior resistência a peças que serão submetidas a temperaturas elevadas, garantindo uma melhor durabilidade ao produto.

O Japão é um excelente exemplo de como se utilizar o nióbio adicionado a ligas, o país utiliza a matéria prima na produção de escapamentos de veículos automotores. Cerca de 25% do minério extraído em solo japonês é destinado a essa produção.

Figura 5 - Dados de Co² produzidos de automóveis em varias partes do mundo.



Fonte: DNPM/DIPLAM e USGS - Mineral Commodity Summaries 2015.

Souza Júnior realizou um estudo acerca do comportamento de corrosão em ambientes que apresentavam características aquosas, cujos contavam com íons cloreto do aço API 5L X70, revestidos por um filme de nióbio e uma camada de liga Nb-Fe, depositados por aspersão térmica.

Diante do resultado, constatou-se a formação de óxidos de nióbio, sendo possível encontrar uma resistência maior em relação à corrosão na peça de aço não revestida, no entanto, constataram-se também traços eletroquímicos inferiores aos encontrados no nióbio puro.

Uma quantidade mínima de nióbio em um carro é capaz de reduzir o seu peso, obtendo dessa forma, uma redução no consumo de combustível e gradativa redução de Co^2 na atmosfera (STRUIJK, 1992).

A título de exemplo, cita-se: a adição de 300 gramas de nióbio proporciona uma redução final de 200 quilogramas no peso total do veículo, o que denota a economia de 1 litro de combustível.

Tomando por base um carro modelo 2009 movido a gasolina, que tem uma média de emissão de Co^2 em 0,30g/Km, considerando uma autonomia de 10Km/Lt., esse veículo teria uma redução de emissão de 3g.

Ao longo dos anos, diversos projetos e pesquisas nacionais e internacionais foram elaborados e serviram como alavanca para o desenvolvimento e oportunidades de melhorias na segurança veicular. A arquitetura em aço que resulte na redução do peso, bem como na redução de emissão de gases na atmosfera é o grande foco desses projetos e pesquisas.

No ano de 2013, a CBMM decidiu trocar toda sua frota de carros pesados, e a utilização do nióbio adicionado ao aço, visando uma maior resistência foi a grande marca desse processo.

A companhia produziu 12 caminhões e como resultado garantiu uma maior vida útil, bem como reduziu o trabalho com manutenção, o peso de transporte, e a redução de custos.

4. RESULTADOS

Frente à defasagem na produção de projetos e pesquisas do tema, o presente trabalho se condicionou aos projetos desenvolvidos pela CBMM, indústria esta, que detém quase que o domínio total da área e exportação do Nióbio brasileiro.

Os projetos a seguir apresentaram resultados claros no intuito de evidenciar as credulidades que essa liga pode oferecer para a indústria automobilística.

Figura 6 – Modelos futuros da CBMM

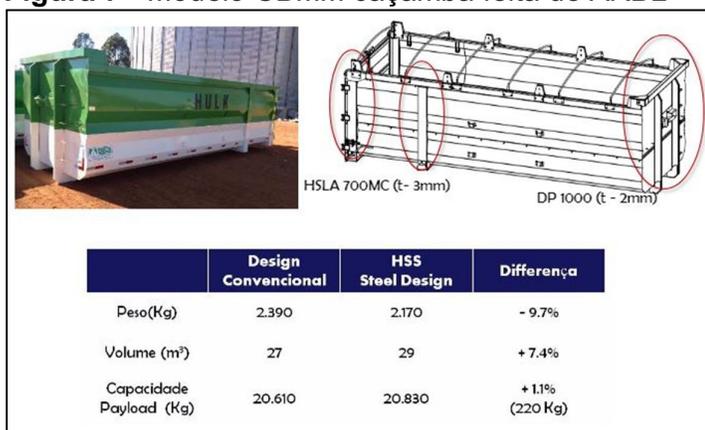


Fonte: CBMM, Nióbio- Projetos e Produtos-2015.

Algumas importantes reduções foram constatadas, dentre elas, destacam-se: a estrutura da Caçamba, com redução de 2.000 Kg; a estrutura Total, com redução de 1.500 Kg; as horas de Trabalho, com redução de 650 horas; os custos Totais de transporte, com redução de 2,2%; o consumo de Combustível / Caminhão, com redução de 600 litros de diesel por ano.

Também se constatou a menor emissão de CO² e a Maior Produtividade e da Vida Útil do Equipamento.

Figura 7 - Modelo CBMM caçamba feita de ARBL

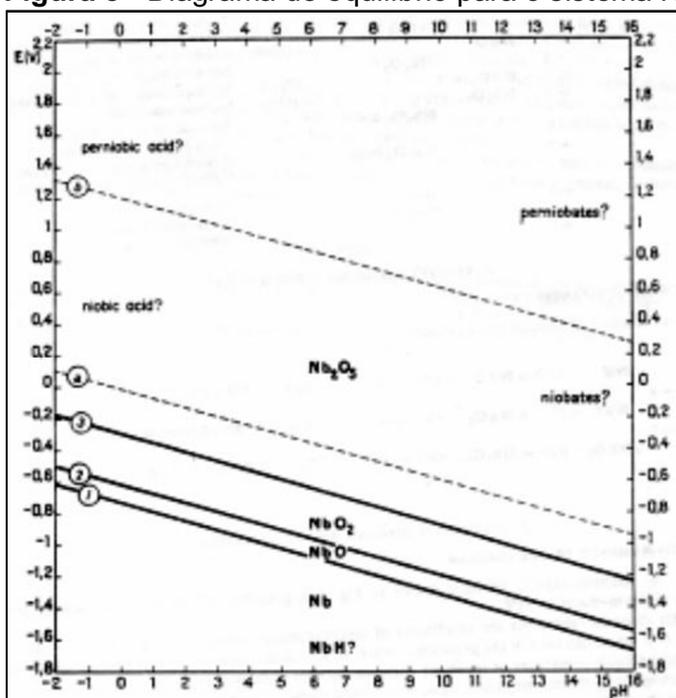


Fonte: CBMM, Nióbio- Projetos e Produtos-2015

A maior resistência do nióbio frente à corrosão deve-se à formação de um filme superficial de óxidos que se forma pelo ar ou pela umidade, o que acaba gerando uma característica protetora e de grande aderência.

A figura a seguir, traz o diagrama de Pourbaix a 25° sobre o sistema Nb-H₂O. O diagrama mostra as condições de estabilidade termodinâmica que podem estar presentes nas soluções aquosas de substâncias que formam complexos solúveis ou insolúveis com o Nióbio.

Figura 8 - Diagrama de equilíbrio para o sistema Nb-H₂O, a 25°C.



Fonte: AMB-DNPM-2013.

O nióbio, diante das suas boas condições de resistências a oxidação também mostra bastante rigidez em ácidos mineiras e orgânicas que contam com concentrações abaixo de 100°C. O minério mostra-se completamente resistente ao ácido nítrico, em 70% a 250°C, demonstrando também um excelente desempenho envolvido em meios a ácidos fosfóricos, vez que, estes em baixa concentração e à temperatura ambiente, mostra uma ótima resistência à corrosão, entretanto, em alta pressão ele tende a fragilizar.

A tabela abaixo demonstra a corrosão do Nióbio nas junções em meios aquosos.

Tabela 6 - Dados de corrosão do Nb em meios aquosos

Meio	Concentração (% em massa)	Temperatura (°C)	Taxa de corrosão mm/ano
Ácido sulfúrico	40	ebulição	0,5
Ácido clorídrico	37	25	0,025
Ácido nítrico	70	250	0,025
Ácido fosfórico	85	88	0,125
Ácido acético	5-99,7	ebulição	-
Ácido oxálico	10	ebulição	1,25
Hidróxido de sódio	1-40	25	0,125
Cloreto de alumínio	25	ebulição	0,005
Bicarbonato de potássio	10	ebulição	0,5
Cloreto de sódio	Saturado e pH=1	ebulição	0,025
Água do mar	natural	ebulição	
Brometo	vapor	20	0,025
Peróxido de hidrogênio	30	ebulição	0,5

Fonte: AMB-DNPM-2013

Diferentemente do Ti, o Nióbio tem grande rigidez frente ao processo de corrosão em meio a ácidos redutores. Se comparado ao tântalo, percebe que o Nióbio passa a ser menos resistente em quase todos os meios, exceto no tangente aos banhos com complexo de flúor, contudo, devido ao seu baixo valor ele passou a ser utilizado em quase todos os processos possíveis.

Em comparação ao zircônio, ambos se assemelham frente ao processo de corrosão, no entanto o nióbio é mais resistente a meios alcalinos fortes.

Os elementos do Tântalo, Nióbio e Titâneo absorvem o hidrogênio a temperaturas baixas, a figura a seguir enfatiza as diferenças entre os minerais e seus respectivos atributos.

Figura 9 - Comparação qualitativa da resistência à corrosão do Nb com Zr, Ta e Ti em diferentes meios

Meio	Nióbio	Zircônio	Tântalo	Titânio
HCl	regular	excelente	excelente	ruim
H ₂ SO ₄	regular	bom	excelente	ruim
Oxidante sem Cl ⁻	excelente	excelente	excelente	excelente
Oxidante com Cl ⁻	excelente	ruim	excelente	excelente
HNO ₃	excelente	excelente	excelente	bom
H ₂ O ₂	bom	excelente	excelente	bom
Ácido com F ⁻	bom	ruim	ruim	ruim
Ácido acético	excelente	excelente	excelente	excelente
NaOH	fragilização	bom	fragilização	fragilização

Fonte: AMB-DNPM-2013.

Os dados revelam que a adição de 300 gramas de nióbio na tonelada de aço é capaz de reduzir o peso final do veículo em 200 quilogramas. Essa redução permite a economia de 1 quilômetro por litro a mais no consumo do veículo automotor.

Logo, com o cálculo de 0,30 gramas por quilo de CO₂ por veículo, imaginando uma autonomia em média de 10 quilômetros por litro consegue-se chegar ao resultado de 3 gramas por carro.

CONCLUSÃO

As indústrias automobilísticas mergulhadas na alta concorrência imposta pelo mercado e a necessidade de inovar necessita de produtos de maior qualidade que resultem na produção de automóveis que atendam a nova demanda, e nesse cenário o aço como componente essencial para produção de autos é peça chave dentro deste processo.

Destarte, a adição do nióbio no aço pela indústria metalúrgica em busca de um aço mais resistente e econômico foi um ganho muito grande para as montadoras de automóveis de todo o mundo.

O mercado consumidor prima pela qualidade e pela economia, de forma que a melhoria no aço no que tange a maior resistência frente ao processo de corrosão vai ao encontro dessa nova demanda.

No que tange ao meio ambiente, restou comprovado que o uso do nióbio no aço empregado pela indústria automotiva atende sobremaneira às expectativas da humanidade quanto a necessidade de se preservar o sistema ecológica mundial, já que, com a redução do peso do automóvel, também reduzirá o consumo de combustível, este grande vilão do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ARLAZAROV, A.; GOUNÉ, M.; BOUAZIZ, O.; HAZOTTE, A.; PETITGAND, G.;

BARGES, P. **Evolution of microstructure and mechanical properties of medium Mn steels during double annealing**. Materials Science and Engineering A, Maizières-lès-Metz, v.542, p.31-39, fev. 2012.

B. Engl and T. Gerber, “**Microalloyed, Vacuum Degassed High Strength steels with Special Emphasis on IF Steels**”. Mechanical Working and Steel Processing Conference, (Indianapolis, Oct 1997).

BERRAHMOUNE, M. R. **Analysis of the martensitic transformation at various scales in TRIP steel**. Materials Science and Engineering A, cidade, v.378, p.304-307, 2004.

BLECK, W.; Using the TRIP Effect -- **The Dawn of a Promising New Group of Cold Formable Sheets, Int. Conf. on TRIP-Aided High Strength Ferrous Alloys**. Editora BC de Cooman, GRIPS, Ghent, 2002, P.13-23.

CHEN, H. C.; ERA, H.; SHIMIZU, M.; **Effect of Phosphorus on the Formation of Retained Austenite and Mechanical Properties in Si-Containing Low-Carbon Steel Sheet**," Met Trans A, V20A, 1989, P437-445.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Manual técnico de elaboração do Sumário Mineral-2014**. Brasília: DNPM, 2014. Inédito.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Relatório Anual de Lavra 2015**, ano base 2014. Software de acesso interno. Inédito.

EHRHARDT, B.; GERBER, T.; SCHAUMANN, T. W.; **Approaches to Microstructural Design of TRIP and TRIP Aided Cold Rolled High Strength Steels Technical Contribution to TKS**, 2004.

GONÇALVES, M. **Processamento termomecânico e evolução microestrutural de ligas de alumínio: aspectos da metalurgia física fundamental. II Workshop sobre textura e relações de orientação**. 2a. ed., São Paulo, 2003, p. 341.

GORNI, Antônio A., **Estudo Traça Relações Entre Microestrutura E Propriedades Mecânicas Em Aços Estruturais**, São Paulo – SP, 2009.

HOUBAERT, Y.; VAN SNICK, A.; **Aceros de Calidad de Embutición com Efecto “Bake Hardening”** - Informe Técnico – IV Congreso de la Deformación Metálica, Deformetal’96 – Barcelona – 1996. Pág. 54 - 59.

H. Hu, **Recovery and Recrystallization of Metals**, Interscience, NY, 1963, 311.

HELMAN, Horacio; CETLIN, Paulo R. **Fundamentos da Conformação Mecânica**. 2ed – Editora Art Liber, Belo Horizonte – MG, 2010.

INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO. **Nióbio: a arte da tecnologia**. Instituto Brasileiro de Mineração. Brasília. Ano III, nº 14, mar/2008. p.10

International Symposium on Thin Slab Casting and Rolling (TSCR' 2002), Guangzhou, China, December 3-5, 2002, Chinese Society for Metals.

KANTOVISCKI, A. R.; **Estudios de la Aplicación Industrial de los Aceros de Alta Resistencia** – Relatório de Trabalho Supervisionado – Engenheiro Trainee - SEAT/Volkswagen – Espanha – Barcelona – 2000/2001.

Leite, Rogério Cerqueira. **Nióbio, uma Conquista Nacional**. Livraria Duas Cidades, 1988.

SCHAEFFER, Lírio. **Conformação mecânica**. 2a ed. Proto Alegre: Imprensa Livre, 2004.

SICILIANO, F.; ONO, A. A. **Aços microligados para peças forjadas e para cementação**. Anais da X Conferência Internacional de Forjamento (XXVI Senafor, 2006).

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. SAE J2340: **Categorization and Properties of Dent Resistant, High Strength, and Ultra High Strength Automotive Sheet Steel**. Warrendale: SAE, 1999.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. SAE J429: **Mechanical and Material Requirements for Externally Threaded Fasteners**. Warrendale: SAE, 2014.

SPINACE, E. V.; VAZ, J. M. **Liquid-phase hydrogenation of benzene to cyclohexene catalyzed by Ru/SiO₂ in the presence of water-organic mixtures**. **Catalysis Communications**, Estados Unidos: Elsevier, v. 4, n. 3, p. 91-96, 2003.

STRUIJK, J.; D'ANGREMOND, M.; REGT, W.J.M. L., SHOLTEN, J.J.F. **Partial liquid phase hydrogenation of benzene to cyclohexene over ruthenium catalysts in the presence of an aqueous salt solution: I. Preparation, characterization of the catalyst and study of a number of process variables**. *Applied Catalysis A: General*, Estados Unidos: Elsevier, v. 83, n. 2, p. 263- 295, 1992a.

TOFFOLO, Rodrigo, V., B., **Estudo Comparativo dos Aços Microligados API-5L-X60 e API 5L-X70, Usados para a Confeção de Tubos, Quanto à Tenacidade à Fratura**. Ouro Preto – MG, 2008.

WIKIPÉDIA. **A ENCICLOPÉDIA LIVRE**. Categoria Nióbio. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ni%C3%B3bio>>. Acesso em: abr. 2019.