

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

BRUNO MICHAEL ANTUNES DA SILVA

NIÓBIO E SUAS CONTRIBUIÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL

Lages SC

2021

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

BRUNO MICHAEL ANTUNES DA SILVA

NIÓBIO E SUAS CONTRIBUIÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário Unifacvest, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Msc. Aldori Batista dos Anjos.

BRUNO MICHAEL ANTUNES DA SILVA

NIÓBIO E SUAS CONTRIBUIÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário FACVEST – UNIFACVEST como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof Msc. Aldori Batista dos Anjos

Lages, SC ____/____/2021. Nota _____

Aldori Batista dos Anjos
Coordenador do Curso de Engenharia Civil

LAGES-SC

2021

NIÓBIO E SUAS CONTRIBUIÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL

¹ BRUNO MICHAEL ANTUNES DA SILVA

² ALDORI BATISTA DOS ANJOS

RESUMO

Este estudo tem como objetivo principal, demonstrar os benefícios da utilização do nióbio no enriquecimento de aços na construção civil. Com o avanço e desenvolvimento na área de ciência dos materiais, a engenharia precisa buscar sempre o aprimoramento de materiais pré-existentes e aplicações de novos produtos que possam contribuir com melhoria e soluções de problemas. Uma das soluções que vem sendo estudada é a aplicabilidade dos aços microligados nióbio na construção civil devido sua grande resistência. Apesar de não ser um elemento raro, mas devido a abundância desse minério no Brasil, a CBMM criou um programa onde o produto de nióbio recebe uma melhor aplicação no mercado de consumo do mesmo. Devido suas diferenças positivas comparado as ligas convencionais, os aços microligados nióbio vem sendo utilizados em obras no Brasil devido as parcerias de CBMM e CODEME ENGENHARIA. Nos aços microligados, o nióbio proporciona maior resistência mecânica com aumento de tenacidade, estimasse que as adições típicas são de aproximadamente 100 a 400 gramas de nióbio para cada tonelada de aço. Com base em estudos divulgados por pesquisadores e principalmente pela CBMM que é responsável por cerca de 80% da produção mundial de nióbio, analisaremos as vantagens dos aços microligados nióbio na construção civil, tais como baixo custo, redução de impactos ambientais, promove alta probabilidade de proteção anticorrosiva em revestimentos metálicos com o uso pentóxido de nióbio entre outros. Os aços de alta resistência microligados ao nióbio tem se demonstrado uma solução ótima na fabricação de aços para utilização em perfis estruturais utilizando os conceitos já desenvolvidos para a indústria de gás e óleo.

Palavras – chave: Aços microligados, CBMM, Engenharia civil, Nióbio, Resistencia mecânica.

¹ Acadêmico Bruno Michael Antunes da Silva do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário UNIFACVEST

² Professor Orientador Aldori Batista dos Anjos

NIÓBIO AND ITS CONTRIBUTIONS IN CIVIL ENGINEERING

¹ BRUNO MICHAEL ANTUNES DA SILVA

² ALDORI BATISTA DOS ANJOS

ABSTRACT

This study has as main objective, to demonstrate the benefits of the use of niobium in the enrichment of steels in civil construction. With the advancement and development in the field of materials science, engineering must always seek to improve pre-existing materials and applications of new products that can contribute to improvement and problem solutions. One of the solutions that has been studied is the applicability of niobium microalloyed steels in civil construction due to their great resistance. Although it is not a rare element, but due to the abundance of this ore in Brazil, CBMM created a program where the niobium product receives a better application in the consumer market. Due to their positive differences compared to conventional alloys, niobium microalloyed steels have been used in works in Brazil due to the partnerships of CBMM and CODEME ENGENHARIA. In microalloyed steels, niobium provides greater mechanical strength with increased toughness, it is estimated that typical additions are approximately 100 to 400 grams of niobium for each ton of steel. Based on studies published by researchers and mainly by CBMM, which is responsible for about 80% of the world production of niobium, we will analyze the advantages of niobium microalloyed steels in civil construction, such as low cost, reduction of environmental impacts, promotes a high probability of anticorrosive protection in metallic coatings with the use of niobium pentoxide among others. High-strength steels microalloyed to niobium have been shown to be an optimal solution in the manufacture of steels for use in structural profiles using the concepts already developed for the oil and gas industry.

Keywords: Microalloyed steels, CBMM, Civil engineering, Niobium, Mechanical resistance.

¹ Academic Bruno Michael Antunes da Silva Of the Civil Engineering Course of the UNIFACVEST University Center.

² Advising Professor Aldori Batista dos Anjos

Lista de Figuras

Figura 1- Ensaio de Tração.....	13
Figura 2-Rolos de aço laminados (chapas longas enroladas)	15
Figura 3-Fábrica de ferro e aço.....	16
Figura 4-Estruturas em Aço	17
Figura 5-Recursos Minerais de Minas Gerais	19
Figura 6-Aço Nióbio usado no aço para a construção do edifício Zun Tower	21
Figura 7-tubo de liga de nióbio.....	24
Figura 8-Etapa de metalurgia, fase final de produção do ferronióbio	25
Figura 9 Minerio Nióbio	26
Figura 10-Fabrica CBMM.....	29
Figura 11-Produção Mundial de Nióbio e a Participação do Brasil	31
Figura 12- Construção de viadutos com aços microligados ao nióbio.	32
Figura 13-CITIC Tower	36
Figura 14-Vergalhão para Concreto Armado	37
Figura 15- Prédio do Instituto Moreira Salles (IMS)	38
Figura 16-Nióbio aplicado em aços estruturais: Ponte do Vale do Millau na França ...	39
Figura 17-Viaduto de Millau 343 metros mais alta que a torre Eiffel	40
Figura 18- Planta de sinterização da CBMM em Araxá, Minas gerais	41
Figura 19- Construção da fábrica sinterização da CBMM em Araxá, Minas gerais	42
Figura 20- Estrutural de Aço	42
Figura 21-dimensões entre as vigas de aço carbono e aços ao nióbio.....	43
Figura 22-Produção de Aço e Consumo de Ferronióbio no mundo	47

Lista de Tabelas

Tabela 1- Reservas e Produção Mundial	19
Tabela 2-Principais aplicações no nióbio.	20
Tabela 3- Distribuição setorial da demanda do nióbio	23
Tabela 4– Preços Comerciais do Nióbio	27
Tabela 5– Aplicação do Nióbio em Produtos de Aço	28
Tabela 6-Preço Relativo FeV/FeNb e variação de preço de FeNb	34
Tabela 7-Indicadores Ambientais	35
Tabela 8-Especificações dos aços.....	43
Tabela 9-Redução de Massa	44
Tabela 10-Redução na Emissão de CO2.....	44
Tabela 11-Redução no Consumo de Energia	45
Tabela 12-Custos na Estrutura	45
Tabela 13-Utilização do niobio	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	PROBLEMA	11
3	OBJETIVOS GERAL	11
3.1	Específicos	11
4	JUSTIFICATIVA	11
5	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
5.1	A importância do aço na Construção Civil	12
5.2	O que é o nióbio e sua principal função.	18
5.3	Quais benefícios o aço microligados nióbio gera na construção civil	31
5.4	Diferenças entre ligas convencionais e a ferronióbio.	36
5.5	Comparação de obra com aços microligados nióbio para obras Convencionais	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1	Demanda de aços microligados nióbio	46
6.2	Resultado da Comparação de qualidade liga nióbio para aços carbono convencionais	47
6.3	Comparativo de preços entre aços convencionais e microligados nióbio	48
7	CONCLUSÃO	49
8	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Para a construção civil os estudos detalhados dos materiais de construção são de suma importância a fim de se garantir a qualidade e integridade estruturais das edificações. Particularmente na construção civil, o aço representa uma das principais matérias-primas, com inúmeras aplicações, tais como armaduras de concreto, fundações, pontes, viadutos, estruturas metálicas e o setor é um grande consumidor dos produtos derivados das usinas siderúrgicas. Desta forma, a construção já é o maior mercado para o aço, perfazendo um total de 30% de vendas ao redor do mundo, um volume equivalente a 300 milhões de toneladas por ano. Existe uma forte tendência internacional de crescimento da construção com aço.

Quando se refere ao processo de fabricação de barras de aço destinadas à construção civil e à indústria de uma forma geral, possuindo alto limite de escoamento e boa ductilidade, existem dois métodos as quais se podem fabricá-las [1].

No segundo método as barras são encruadas por trabalho a frio após o processo de laminação. A resistência ao escoamento é aprimorada por acréscimos na quantidade de deformação no aço, possibilitando a produção de barras com elevada resistência e excelente soldabilidade [2].

Com isso devido à grande evolução de novas técnicas e tecnologias, na área da construção civil a engenharia precisa buscar sempre o aprimoramento de materiais pré-existentes e aplicações de novos produtos que possam contribuir com melhoria e soluções de problemas, com isso é de extrema importância os estudos e a implementação de novas tecnologias voltada a construção civil. Uma possível alternativa é a utilização do nióbio, pois o Brasil possui aproximadamente 98% das reservas de nióbio conhecida no mundo. Tornando o maior produtor de nióbio, com uma produção de aproximadamente 90% da oferta, seguido pelo Canadá e Austrália.

Com características de baixa dureza e alta resistência, geralmente e mais utilizados nas indústrias automotivas, aeroespacial, bélica e nuclear. Com isso a produção do minério é voltada mais para a exportação, utilizando o mínimo do minério em prol dos avanços no Brasil. O nióbio é utilizado mais como uma estratégia para o Brasil, pois, existem somente substitutos imperfeitos para realizar suas funções. Os aços microligados, por suas melhores propriedades em relação aos aços-carbono, têm sido largamente utilizados pela construção civil e indústria mecânica.

Objetivo principal desse trabalho é demonstrar os benefícios da utilização do nióbio em nossas estruturas armadas, hoje uma das principais empresas em extração desse minério, exporta aproximadamente 95% de sua produção. Porém a empresa

CBMM a maior empresa em extração desse minério vem investindo nessa alternativa, onde em parceria com Codeme, foi realizado um trabalho que apresenta um caso real de um edifício industrial onde se obteve redução de custo da obra, resultado de uma solução de engenharia otimizada realizada pela CODEME para a nova planta de sinterização da CBMM em Araxá, Minas Gerais, Brasil. A tecnologia de aços ao nióbio foi usada no projeto estrutural das vigas e perfis.

Comprovaremos os benefícios do nióbio em aços baseando-se, em pesquisas científicas realizadas, e comprovadas em artigos, defesas de mestrados etc.

2 PROBLEMA

Com o aumento da demanda de construções de grande porte, a engenharia precisa buscar sempre o aprimoramento de materiais pré-existentes e aplicações de novos produtos que possam contribuir com melhoria e soluções de problemas.

Visando esse aumento de obras de grande porte, de que forma a aplicação do nióbio auxilia no aumento da resistência estrutural sem aumentar a quantidade de aço, influenciando no preço final da obra.

3 OBJETIVOS GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral demonstrar o resultado da adição do minério nióbio em aços estruturais, baseando-se em estudos científicos e obras realizadas pelas empresas CBMM e CODEME na construção civil.

3.1 Específicos

- **A Importância do aço na Construção civil**
- **O que é o nióbio e sua principal funções**
- **Quais benefícios o aço microligados nióbio gera na construção civil.**
- **Diferença entre ligas convencionais e a ferronióbio.**
- **Comparação de obra com aços microligados nióbio para obras Convencionais.**

4 JUSTIFICATIVA

O alto nível de concorrência na indústria brasileira incentivou a busca pela melhoria dos produtos ofertados, aliado à redução de custo de produção. Com a necessidade de uma nova alternativa de barateamento do processo uma nova tecnologia produtiva é necessário, especialmente a que é relacionada com a composição da liga metálica, uma possível solução seria a adição de nióbio como elemento de liga, um exemplo seria a adição do minério em substituição ao molibdênio no ferro fundido nodular austemperado (Austempered Ductile Iron – ADI) com a intenção de melhorar propriedades como resistência ao desgaste, impacto e tração, além de reduzir gastos na aquisição desse elemento. O ADI está sendo usado em estruturas,

componentes automotivos, ferroviários, da mineração e na construção civil. Fazendo uma análise do ferro nióbio com os demais aços utilizados atualmente na construção civil, mostrando os benefícios da utilização do nióbio devido suas propriedades mecânicas.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 A importância do aço na Construção Civil

Devido a demanda de novas tecnologias de construção hoje temos vários tipos e formas de aço, sua variedade pode ser pela sua aplicação específica ou pelo controle de sua composição, ou até mesmo pela garantia de propriedades específicas. Conforme cita Nardin (2008), o aço, com suas características peculiares, permitiu um enorme avanço em soluções de arquitetura além de proporcionar diversas vantagens como elemento construtivo em relação ao concreto.

Um estudo de CBCA (2021), revela que hoje existem mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos. Na construção civil, o seu principal papel recai sobre os chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica, a classificação de aço estrutural, se dá devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, que devem ser adequadas para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento.

Podemos afirmar que um aço para receber o título de aço estrutural, também necessita segundo o autor, ter uma elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade microestrutural, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem que se originem fissuras. Verifica-se que o aço na construção civil possibilita a redução dos custos da obra sem perda de qualidade. (CBCA, 2021)

Podemos também pontuar outro fato relevante na escolha de estruturas metálicas, comparado a construção em concreto, é a questão ambiental, já que 50% do aço é produzido de reciclagem. (NARDIN, 2008)

Quando falamos de estruturas metálicas, as propriedades dos aços são de suma importância, já que o projeto e execução são baseado nos mesmos. Para chegar nessas propriedades é necessário realizar testes de resistência, por exemplo, ao submeter uma barra metálica a um esforço de tração crescente, conseguimos observar um certo aumento de comprimento. Analisando este comportamento de alongamento da barra de aço, chegamos alguns conceitos da propriedade dos aços. (FERRAZ, 2003)



Figura 1- Ensaio de Tração

Fonte: (Silveira, s.d.)

Ferraz (2003), lista algumas das propriedades que é possível identificar depois do ensaio de tração, que seriam eles:

- **Elasticidade** que segundo o mesmo, é a propriedade do metal de retornar à forma original, desde que retire a força atuante.
- **Plasticidade** que é quando o metal deforma permanente, mesmo com a retirada da carga, seria propriedade inversa a elasticidade.
- **Ductilidade** é uma forma de prevenir acidentes em construção, pois ela é a capacidade do aço se deformar quando sofre um esforço até se romper.
- **Fragilidade** caracteriza-se através do rompimento sem aviso prévio, responsável por acidentes em pontes e navios.
- **Resiliência** é a capacidade de retornar a energia absorvida pelo esforço.
- **Tenacidade** representa a energia total, que o material pode absorver até a sua ruptura.
- **Fadiga** retrata a ruptura de um material sob esforços repetidos ou cíclicos.
- **Dureza** qualifica-se como a resistência ao risco ou abrasão, resistência à penetração de uma peça de maior dureza.

Dentre os aços estruturais existentes atualmente, o mais utilizado e conhecido é o ASTM A36, que é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica. Entretanto, a tendência moderna no sentido de se utilizar estruturas cada vez maiores tem levado os engenheiros, projetistas e construtores a utilizar aços de maior resistência, os chamados aços de alta resistência e baixa liga, de modo a evitar estruturas cada vez mais pesadas. (CBCA, 2021)

Conforme expressa Nardin (2008), fica claro observar as vantagens do uso do aço, conseguimos por exemplo, um alívio das fundações, com a maior resistência do aço permite a realização de um projeto mais leve, com isso consequentemente identifica-se uma grande redução de custo com fundações, outra característica que se adquire com o uso do aço é a redução do tempo de construção entre outros benefícios. A construção de estruturas metálicas gera uma competitividade econômica a frente do concreto, quando aliada a um projeto adequado.

Entre essas características está a precisão de medidas – em milímetros contra centímetros no caso do concreto – possibilitando economia significativa na mão-de-obra e argamassa de regularização, a menos necessidade de madeiramento, retorno mais rápido do investimento e menor necessidade de mão-de-obra. (NARDIN, 2008- pág 14)

Segundo Ferraz (2003) o aço, será o resultado da descarbonatação do ferro gusa, ou seja, é produzido a partir deste, controlando-se o teor de carbono para no máximo 2%. É compreensível que o que temos então, é uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono, este último variando de 0,008% até aproximadamente 2,11%, além de certos elementos residuais resultantes de seu processo de fabricação.

Ferraz (2003), mostra que conseguimos estar diferenciando os tipos de aço, através de sua forma, tamanho e uniformidade dos grãos que o compõem e, por sua composição química. Podemos então afirmar que para cada tipo de interesse, pode-se alterar sua aplicação final, é possível fazer estas mudanças através de diferentes aplicações de elementos químicos, chegando a resultado de um aço com diferentes graus de resistência mecânica, soldabilidade, ductilidade, resistência à corrosão, entre outros. Ocorre que de maneira geral, os aços possuem excelentes propriedades mecânicas, com por exemplo uma boa resistência à tração, à compressão, à flexão, e como é um material homogêneo, pode ser laminado, forjado, estampado, estriado.

No Brasil, algumas instituições de pesquisa junto com fabricantes de estruturas e algumas siderúrgicas influenciaram o desenvolvimento de novas tecnologias e conceitos de soluções construtivas estruturadas em aço. (NARDIN, 2008)



Figura 2-Rolos de aço laminados (chapas longas enroladas)

Fonte: (Google, 2021)

O uso do aço inox tem crescido de forma destacável nas últimas décadas. Na maioria das aplicações em arquitetura, a aparência, o prestígio e a qualidade estética são características combinadas com as conhecidas considerações funcionais proporcionadas pelo material: alta resistência à corrosão, impacto, abrasão e durabilidade. (Ferraz 2003, pág 13)

Podemos enunciar que a construção civil em aço se aplica em vários locais e para diversos usos, como pontes, aeroportos, complexos industriais ou edifícios, outro aspecto que beneficia as estruturas metálicas, quando comparada com o concreto, são suas condições menos agressivas ao meio ambiente. Ocorre que hoje na construção civil parafusos, conexões e membros estruturais podem ser desmontados e reutilizados, implicando em uma reciclagem de 100%, sem perda de resistência mecânica quando da reutilização. Com o objetivo de desenvolvimentos buscavam soluções simples e de custo relativamente baixo, podendo ser utilizada em larga escala em programas habitacionais de interesse social. Visando esse aumento de obras com estruturas metálicas, conclui-se que a aplicação do nióbio seria uma possível solução para auxiliar no aumento da resistência estrutural sem aumentar a quantidade de aço e peso. (NARDIN, 2008)



Figura 3-Fábrica de ferro e aço

Fonte: (Google, 2021)

Do ponto de vista de suas aplicações, os aços podem ser classificados em diversas categorias, cada qual com suas características (CHIAVERINI, 1996).

Os aços para estruturas são requeridos propriedades de boa ductilidade, homogeneidade e soldabilidade, além de elevada relação entre a tensão resistente e a de escoamento.

Os aços fabricados para a construção civil podem ser divididos em dois conjuntos, com fins estruturais propostos sobretudo a produção de perfis soldados, perfis laminados, perfis com chapa dobrada e eletro soldados (colunas e vigas) e perfis leves para o sistema Steel Frame, sem fins estruturais, especiais” (Araujo ,2019- pág 12)

Devido o grande potencial em possibilidades arquitetônicas e também a capacidade de proporcionar desenhos mais arrojados, o uso da estrutura metálica tem sido mais visado nos últimos anos, possibilitando que na busca de novas ideias de construção, e na facilidade de técnicas construtivas, o uso da estrutura metálica dá um leque de possibilidades maior, os espaços mais abrangentes, com as necessidades dos clientes mais bem atendida. (ARAUJO, 2019)

O maior grau de industrialização da estrutura metálica, além de proporcionar um resultado perfeito no alinhamento da construção, oferece também a garantia dos materiais serem previamente testados, oferecendo um alto grau de segurança na sua utilização (NARDIN, 2008- pág 14)

A partir do século XIX teve início a criação do concreto armado. Com isso possibilitou a construção de prédios mais altos e obras modernizadas. Além disso, deu flexibilidade aos projetos e é sinônimo de inovação e avanço na tecnologia desse setor.

Podemos afirmar que hoje, temos uma grande diversidade de aços com propriedades próprias. Esse material também está disponível em diversos formatos na indústria siderúrgica, como chapas, tubos, cabos, barras, perfis e telhas metálicas, considerados matéria-prima base na edificação de uma obra. (IBDA, 2021)

“O uso do aço na construção civil, em estruturas metálicas, em pequenos e grandes projetos vem ganhando espaço a cada dia, mesmo considerando sua desvantagem econômica comparando-se com a estrutura convencional”. (Nardin 2008, pág 62)

Podemos complementar que hoje o uso do aço em estruturas metálicas na construção civil tem diversas vantagens, além dos projetos serem mais elaborados, as possibilidades arquitetônicas se ampliam. Conseguimos especializar mais a mão de obra para adquirir técnicas construtivas mais vasta, como resultado conseguimos uma área mais amplas nas obras. (NARDIN, 2008)

Além dessas características citadas, conforme relata Ibda (2021), com a utilização de estruturas metálicas, acabamos necessitando de menos mão de obra para a montagem das estruturas, especialmente quando comparamos com o que se utiliza com outros matérias. Conseguindo uma gestão melhor de equipe e também um custo menos por pessoal. Isso se origina pelo fator de o aço ser um material pré-fabricado e reciclável, gerando economia também em relação aos outros insumos.



Figura 4-Estruturas em Aço

Fonte: (CONSTRUCAOCIVILPET, 2016)

De acordo com a World Steel Association(2015), metade dos 1665 milhões de

toneladas de aço produzidos em 2014 foram utilizados no mercado de construção, sendo 25% na forma de perfil laminado, 44% em vergalhão, ou barras para concreto armado, e os 31% restantes na forma de chapas. Esta grande utilização de aço estrutural tende a permanecer em crescimento nos próximos anos devido à necessidade do crescimento das atividades industriais, aumento da população e substituição de infraestruturas antigas. “Aços estruturais são vergalhões para reforço de concreto, barras, chapas e perfis para aplicações estruturais. São aqueles que são adequados para o uso em elementos que suportam cargas”. (Ferraz 2003, pág 9)

5.2 O que é o nióbio e sua principal função.

O nióbio é um sólido metálico, macio, dúctil, de elevado ponto de fusão (um dos maiores do quadro periódico) que é resistente à corrosão devido à formação de uma película superficial de óxido, chamada de camada de passivação. Quando combinado, exibe vários estados de oxidação, sendo o +5 o mais comum. À temperatura ambiente, o metal não reage com hidrogênio, ar, água ou ácidos, exceto o fluorídrico e sua mistura com o ácido nítrico. (SOUSA et alii, 2013)

O ferro nióbio é uma liga de ferro utilizada para adicionar nióbio aos aços, conferindo a eles resistência mecânica maior, menor peso e custo reduzido. Além disso, preserva características desejáveis do aço, tais como soldabilidade, tenacidade e conformabilidade (SILVEIRA, 2013).

O Brasil possui aproximadamente 98% das reservas de nióbio conhecida no mundo, posteriormente Canadá com 1% e Austrália com 0,46%. Tornando o maior produtor de nióbio, com uma produção de aproximadamente 90% da oferta. As reservas brasileiras estão distribuídas entre Minas Gerais, Amazonas e Goiás. Com características de baixa dureza e alta resistência, geralmente e mais utilizados nas indústrias automotivas, aeroespacial, bélica e nuclear. (SILVEIRA, 2013)

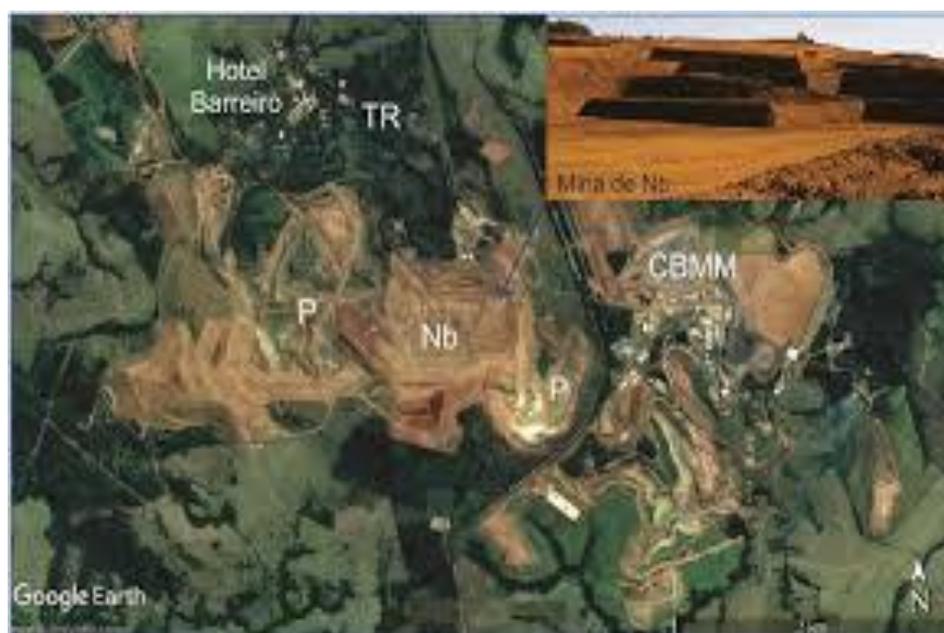


Figura 5-Recursos Minerais de Minas Gerais

Fonte: (Google, 2021)

Segundo Lima (2010), as razões para sua crescente aceitação baseiam-se em três importantes fatores: versatilidade, vantagens econômicas e disponibilidade de suprimento no longo prazo. O Brasil é o maior produtor mundial de nióbio, como pode ser observado na tabela abaixo.

Tabela 1- Reservas e Produção Mundial

Países	Reservas ² (t)	Produção ¹ (t)			
	2011 ^(p)	2009 ^(r)	2010 ^(r)	2011 ^(p)	(%)
Brasil	4.133.193	165.723	165.767	169.245	97,02
Canadá	61.000	4.330	4.400	4.600	2,64
Outros Países	21.000	400	600	600	0,34
TOTAL	4.215.193	170.453	170.767	174.445	100

Fontes: DNPM/DILPLAM, USGS Mineral Commodity Summaries-2012

⁽¹⁾ Dados referente à Nb_2O_5 contido no minério. ⁽²⁾ Reserva Lavrável. ^(p) Preliminar, ^(r) Revisado.

Segundo Pesquisa da Puc (2013), o preço médio da liga ferro com nióbio, em 2008, foi de aproximadamente US\$ 33 mil a tonelada. Em comparação com um dos minérios concorrentes do nióbio a liga com molibdênio ultrapassou a barreira de US\$ 73 mil a tonelada. Ocorre que com o custo reduzido, junto com a disponibilidade do nióbio no Brasil, possibilita cada vez mais a utilização do mesmo, já que a necessidade de

importação do molibdênio.

A tecnologia de aços ao nióbio foi usada no projeto estrutural das vigas e perfis, o conceito foi aplicado em um prédio industrial projetado para conter o novo equipamento de sinterização da planta da CBMM em Araxá. A nova instalação é um importante componente do projeto de expansão de produção para 150.000 toneladas por ano. A estrutura foi produzida e construída em 10 meses, durante o ano de 2011, pela empresa CODEME Engenharia, empresa brasileira de construção especializada em estruturas em aço. Nesses aços microligados, o teor típico de nióbio é de aproximadamente 400 a 500 g/t de aço e a função do nióbio na elaboração dos mesmos é proporcionar resistência mecânica com diminuição do peso. (PIMENTA; SILVESTRE, 2011)

AANb tem como sua principal aplicação os aços microligados, aços inoxidáveis e aços resistentes ao calor, representando estas aplicações em 90% da participação de mercado, para o ferro nióbio standard (60% Nb contido). (MACEDO, 2014-pág 26)

Decorrente a ideia de Lima (2010), o nióbio é versátil, seus usos atuais incluem desde sua composição na fabricação de aços estruturais e aços para indústria automotiva e até materiais para motores a jato e turbinas a gás. A este propósito, a tabela mostra as principais aplicações do nióbio no mundo

Tabela 2-Principais aplicações no nióbio.

<i>Produto</i>	<i>Principais Produtores</i>	<i>Participação do mercado (%)</i>	<i>Aplicações</i>	<i>Principais Mercados</i>
Ferronióbio (HSLA FeNb) ~60% Nb contido	CBMM Anglo American IAMGOLD/Niobec	90%	HSLA Aço Inoxidável Aços resistentes ao Calor	<ul style="list-style-type: none"> • Indústria Automotiva • Engenharia Pesada e Infraestrutura • Setor Petroquímico • Usinas de Energia • Oleodutos e Gasodutos
Ferronióbio Vacuo(VG FeNb) 99% Nb contido	CBMM	3%	Superligas	<ul style="list-style-type: none"> • Indústria aeroespacial • Setor Petroquímico
Nióbio Metálico e Ligas ~50–65% Nb Contido	CBMM	3,40%	Supercondutores	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleradores de Partículas • Ressonância Magnética
Óxido de Nióbio >99% Nb Contido	CBMM	3,40%	Cerâmicas Catalisadores	<ul style="list-style-type: none"> • Óptica • Eletrônica

Fonte: IAMGOLD

Conforme afirma Silveira (2013), os aços microligados Nióbio são muito utilizados na construção civil, construção de oleodutos e gasodutos, nas plataformas de exploração de petróleo em águas profundas e na indústria naval. Podemos citar ainda, a utilização desses aços microligados na fabricação de reatores nucleares e de trilhos ferroviários. Outra importante aplicação do nióbio é na fabricação de aços inoxidáveis. Neste grupo, o nióbio garante melhor desempenho em temperaturas elevadas e contribui para neutralizar o efeito do carbono e do nitrogênio, garantindo assim maior durabilidade.

O nióbio também tem importantes aplicações na forma de nióbio metálico. Entre suas características está a grande resistência à corrosão, principalmente em meios ácidos e em metais alcalinos fundidos.

Porém, estes mesmo elementos, em outras aplicações, podem ser usados como substitutos imperfeitos para o nióbio. No entanto na maioria dos casos, a substituição do 36 nióbio não é desejável, pois pode gerar perdas de eficiência ou incorrer em maiores custos. (U.S. Geological Survey, 2021)

Hoje a empresa CBMM principal produtora do minério, tem como seu principal produto uma liga denominado ferro-nióbio contendo 65%nb, sendo empregada, como elemento microligante na produção de aços microligado ou HSLA (high-strength low-alloy steels) que constituem um grupo de aços resultante da adição de pequenas quantidades até 0,1% de Mo, Ti, V, Nb. Os principais produtos básicos do Nióbio, são liga Ferro-nióbio e o óxido de nióbio, sendo este último, a fonte primordial para a elaboração do metal, da Ferro-liga Níquel- nióbio e superligas. (Silva ,1994)



Figura 6-Aço Nióbio usado no aço para a construção do edifício Zun Tower

Fonte: (CBMM)

O minério de nióbio tem despertado a curiosidade da população em geral, sobretudo, devido às múltiplas funcionalidades e à demanda em vários países. Entre as aplicações, o metal pode ser utilizado como “elemento de liga”, conferindo mais resistência mecânica ao aço para aplicações na construção civil, obras de infraestrutura, na indústria automotiva e de eletrônicos e aceleradores de partículas. (CONFEEA, 2019)

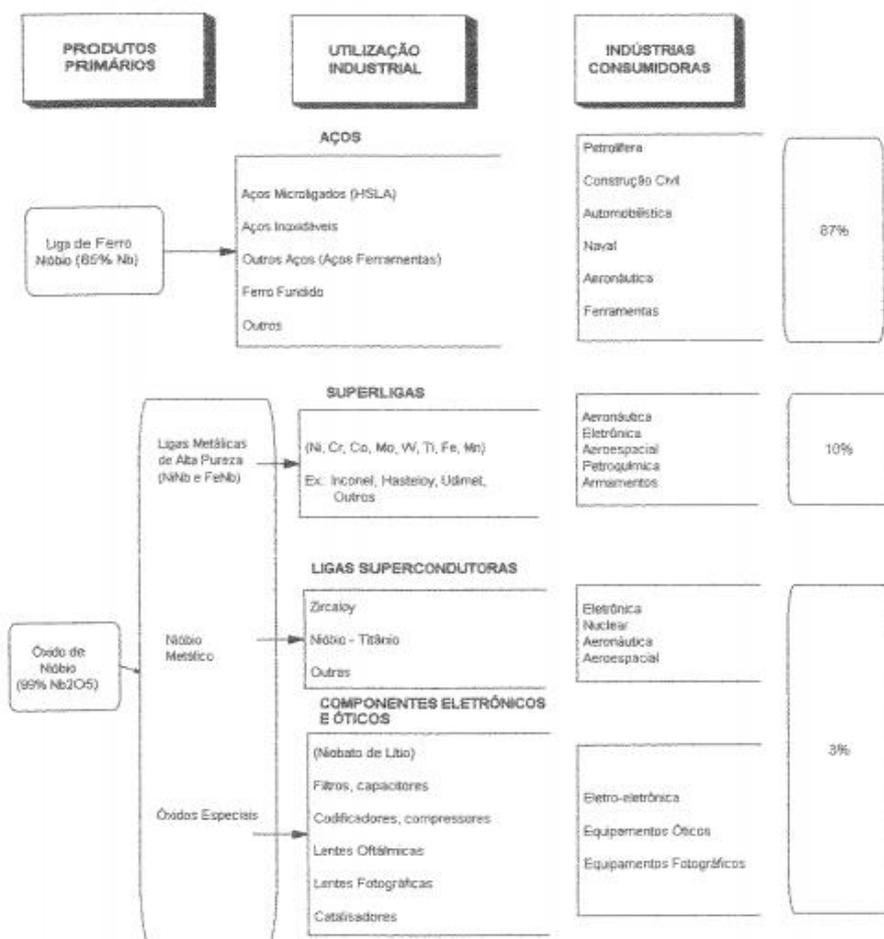
Segundo CBMM (2017), O nióbio ajuda a resolver complexos desafios de engenharia, possibilitando economia e eficiência de materiais. Projetos com estruturas mais modernas, promovem mais liberdade de design e segurança, com maior resistência e tenacidade, de maneira mais sustentável.

A adição do nióbio como ferroliga, aos aços microligados ou "HSLA" e aços ao carbono, tem como papel principal proporcionar o aumento de resistência, tenacidade e refino de estruturas. Esses aços com a adição do minério, tem como a utilidade a produção de chapas laminadas a quente, que se destinam a elaboração de tubos de grande diâmetro para gasodutos/ oleodutos, vergalhões para plataformas de exploração de petróleo, construção naval etc. Na forma de chapas e tiras laminadas, na indústria automobilística e como barras (vergalhões) na construção civil. (SILVA,1994)

O nióbio sofre concorrência em quase todos os setores onde é utilizado. Na produção de aço "HSLA", o ferro nióbio tem sido um forte substituto da liga fe-nb no japão e provavelmente nos últimos anos, a participação da liga fe-ti em aumentado sue consumo no mercado japonês (Silva 1994, pág 33)

Baseando-se em Silva (1994), o mercado do nióbio está limitado, principalmente ao comportamento da oferta e demanda da liga ferro-nióbio. Tendo seu principal consumidor a indústria siderúrgica determinando os níveis de produção, com isso o desempenho da indústria de aço afeta principalmente consumidores de aço, como por exemplo as indústrias da construção civil.

Tabela 3- Distribuição setorial da demanda do nióbio



Fonte: Silva (1994)

Decorrente a fala do autor Silva (1994), com o que temos de reserva de minério de nióbio, podemos considerar suficiente para a demanda exigida, mesmo com o crescimento, o mesmo afirma que a demanda de nióbio no mercado internacional equivale a 0,36% das reservas conhecidas, sem considerar o depósito em São Gabriel da cachoeira, no estado do Amazonas.

O uso do nióbio na elaboração de aços especiais e na fabricação de ligas com outros metais tem crescido em média 7% ao ano, taxa superior à própria produção mundial de aço, o que caracteriza uma tendência das siderúrgicas em cada vez mais vir a ampliar e diversificar a utilização do nióbio na fabricação dos aços especiais em resposta à demanda dos tradicionais setores consumidores. (LIMA, 2010- pág 6)

Conforme menciona o autor Lima (2010), mesmo com toda a pesquisa com objetivo de ampliação da utilização do nióbio, sua maior demanda ainda continuara por um longo tempo na indústria siderúrgica, com elaboração de aços microligados e aços especiais. O autor ainda sugere para que possamos aproveitar a liderança em produção de nióbio, realizemos pesquisas tecnológicas, voltadas para a ampliação da utilização

do nióbio, tanto pelas siderúrgica quanto pelas metalúrgicas. Conseguindo gerar novos produtos e compostos.



Figura 7-tubo de liga de nióbio

Fonte: (Google, 2021)

Acordante com Webster (2010), os aços estruturais normalmente são aços carbono ou com pequenas quantidades de elementos de liga. Nesse grupo, encontra-se o aço ASTM A36 que é largamente empregue por muitas construtoras. Conforme as normas ASTM A572 e NBR 5008 a um limite de teor de nióbio, que se refere a uma quantia abaixo de 0,050% e 0,060%, Porém foi realizado um estudo com 10 parceiros e a comissão europeia que revelou o grande benefício quando adicionado uma quantia maior de nióbio, que se tornaram padrões em normas API também em outros setores, entre os benefícios, um deles seria o estrutural, com vantagens especiais em relação a soldabilidade destes aços, Permitindo que o aumento do nióbio perante as estruturas usadas na construção civil sejam mais seguras e mais eficientes, isso se origina devido ao aumenta a resistência e a tenacidade do aço, possibilitando mais versatilidade na arquitetura moderna. Tornando estruturas mais econômicas e com um processo mais acelerado quando comparado as outras obras de infraestrutura, tais como, aeroportos e pontes.

O uso eficiente da tecnologia do nióbio também reduz a quantidade de matérias-primas necessárias para estas construções, aumentando a viabilidade dos projetos estruturais. Com essas características podemos diminuir o peso e custo nas estruturas civil, sem falar na diminuição da poluição que geralmente outras ligas metálicas causam.

A CBMM investe na disseminação do potencial do nióbio para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). O elemento nióbio, aplicado em grandes estruturas, como navios, pontes e edifícios, reduz em até 20% a quantidade de materiais utilizados. (CBMM 2017. 76 p.)



Figura 8-Etapa de metalurgia, fase final de produção do ferronióbio
Fonte (Chaves, s.d.)

A principal aplicação do nióbio dá-se nos chamados aços de baixa liga e alta resistência (HSLA), utilizados em tubulações de grandes diâmetros, usados na construção civil, em obras de grande porte e na indústria automobilística. (Balanço Mineral Brasileiro 2001, 2001-pag 1)

Welford (1996), revela que desde a Revolução industrial, a base para a escolha de materiais foi sempre feita por demandas técnicas, como custo, estabilidade à temperatura, massa específica, resistência do material, dureza, dentre outras. Holloway (1998), indica que os designers e engenheiros sempre focaram na melhoria do desempenho de parâmetros como menor peso, menor custo de projeto e mínima deformação térmica.

A CBMM é a única empresa do mundo que fornece todos os produtos de nióbio. “Desde o início, ela investiu pesado no processo de fabricação do ferronióbio e de outros produtos feitos com o metal”, afirma o engenheiro metalurgista Fernando Gomes Landgraf, professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP). O processo de beneficiamento e industrialização do nióbio em Araxá ocorre em 15 etapas. Tudo começa com sua extração da natureza. As principais fontes de nióbio são jazidas

de um minério chamado pirocloro. A mina da CBMM tem apenas 2,3% de nióbio, percentual pequeno, mas superior ao da maioria das reservas do mundo. A fração restante é composta por minério de ferro em diferentes formas, óxido de bário e fosfato, além de elementos como enxofre, silício, entre outros. (Pesquisa FAPESP -2019)



Figura 9 Minerio Nióbio

Fonte- (2021)

O nióbio é um metal utilizado mais pela área siderúrgica. Nos aços microligados, o nióbio proporciona maior resistência mecânica com aumento de tenacidade, estimasse que as adições típicas são de aproximadamente 100 a 400 gramas de nióbio para cada tonelada de aço. O nióbio ganhou seu espaço na fabricação de aços devido seus inúmeros benefícios, como por exemplo excelentes propriedades como resistência à alta temperatura, corrosão, boas propriedades mecânicas e características de supercondutor quando combinado com determinadas ligas, tornando-se indispensável. (JÚNIOR, 2009)

Considerando o consumo atual, a jazida de Araxá pode atender a demanda mundial por 200 anos. O virtual monopólio brasileiro do metal se traduz em vantagens óbvias – o minério é importante fonte de riqueza e o terceiro mais exportado –, mas, ao mesmo tempo, traz desvantagens. Para o físico Rogério Cezar Cerqueira Leite, professor emérito da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), a posição de destaque do Brasil nesse setor é um obstáculo para um uso em maior escala do metal. “Nenhum país ou empresa aceita uma dependência exagerada em relação a um único fornecedor. Além disso, para cada aplicação de nióbio, há um sucedâneo, inclusive o

próprio nióbio de outros países, que, embora proveniente de minérios mais recalcitrantes e, portanto, de aproveitamento mais dispendioso, já são operacionais”, afirma. (PESQUISA FAPESP, 2019)

Conforme o relatório técnico de Lima (2010), a CBMM mantém uma política de preços, como detentora da maior posição de extração no mundo, é realizado contratos com seus consumidores com uma margem de preço viável, evitando a possibilidade da troca da liga por outros concorrentes direto da liga nióbio.

Tabela 4– Preços Comerciais do Nióbio

ANOS	Unit. US\$ fob/t	
	Óxido	FeNb
1978		9.615,00
1979		8.822,00
1980	19.200,00	11.538,00
1981	17.148,00	11.794,00
1982	16.971,00	13.310,00
1983	10.670,00	11.162,00
1984	11.439,00	10.531,00
1985	11.512,00	10.461,00
1986	11.795,00	10.510,00
1987	11.643,00	10.488,00
1988	12.576,00	11.034,00
1989	13.063,00	7.866,00
1990	14.940,00	8.354,00
1991	14.747,00	12.529,00
1992	14.966,00	12.472,00
1993	14.962,00	12.803,00
1994	13.252,00	12.646,00
1995	14.594,00	12.384,00
1996	15.713,00	13.142,00
1997	16.027,00	13.458,00
1998	17.138,00	17.052,00
1999	17.077,00	13.313,00
2000	17.340,00	13.333,00
2001	15.488,00	13.197,00
2002	19.161,00	12.902,00
2003	17.235,29	12.578,87
2004	16.451,01	12.376,57
2005	15.256,57	13.501,65
2006	10.762,12	13.512,15
2007	17.290,60	22.764,11
2008	18.000 (e)	22.633,74

Fonte: MDIC – Sistema Alice

Nota: (e) valor estimado

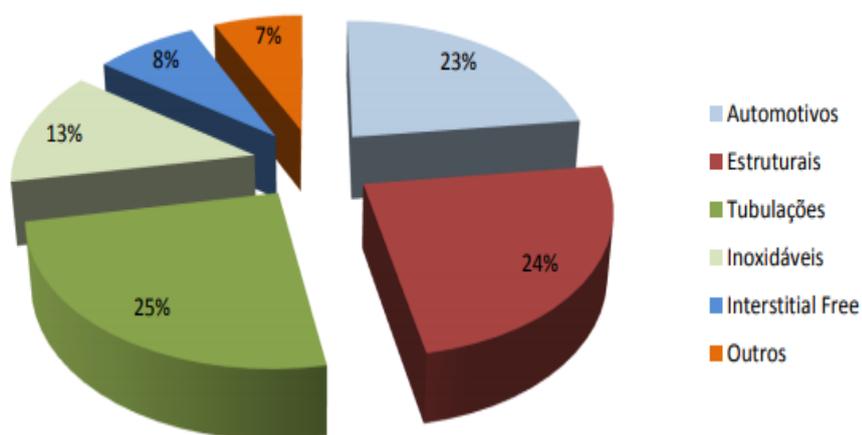
Os estudos de Lima (2010), indica que a empresa CBMM possui capacidade para produzir 90 mil toneladas de nióbio por ano. Observando ainda que mesmo com o reflexo da crise internacional e da redução da produção mundial de aço em meados de 2008 e 2009, a CBMM vem trabalhando com capacidade reduzida, Porém a CBMM prevê fazer um investimentos no valor de R\$ 250 milhões na ampliação da sua capacidade instalada em 40%, objetivando atender a demanda da indústria siderúrgica mundial para a produção de aço nos próximos anos.

Hoje a aplicação do niobio em aços esta dividida basicamente em setores

automotivos, estruturais, tubulação entre outros , segue a baixo a tabela divulgada pela CBMM 2010.

Tabela 5– Aplicação do Nióbio em Produtos de Aço

Aplicação do Nióbio em Produtos de Aço



Fonte: CBMM, 2010

Conforme mencionado em Balanço Mineral Brasileiro 2001 (2001), uma vantagem também que a utilização do nióbio gera, devido ao investimento que a CBMM Impresa responsável pela extração, proem em tecnologias para a diminuição da poluição, e com uma redução de 20% nos custos na utilização do carvão vegetal como combustível envolvido no processo de fabricação.

A CBMM, vem investindo na ordem de US\$ 82,5 milhões, na expansão em 50% de sua capacidade anual de produção de FeNb, e US\$ 45 milhões no desenvolvimento de uma nova tecnologia para tratamento do pirocloro através do processo de pirometalurgia, que substitui o processo de lixiviação e a emissão de efluentes sólidos e líquidos, liberando apenas resíduos gasosos não poluentes. (Balanço Mineral Brasileiro 2001 -2001-pág 16)

Conforme menciona o autor Balanço Mineral Brasileiro 2001(2001), que a liga ferro-nióbio, tem grande importancia para adquirir alguns tipos de aços microligados, que geralmente tem suas aplicações principalmente nas industrias de construção civil. Nos aços Microligas, tem uma utilização media de cerca de 400g de FeNb por tonelada de aço, com a nessecidade de baixa quantidade de minerio conseguimos um produto com alta resistência mecanica, tenaciade e soldabilidade.

Analisando o total de reservas nacionais de nióbio, o percentual de participação dos Estados, com relação à soma de suas reservas medida, indicada e inferida, aponta em primeiro lugar o Amazonas, cujas reservas de nióbio representam 87,36%. (Balanço Mineral Brasileiro 2001-2001-pág 2)



Figura 10-Fabrica CBMM

Fonte- (Google, 2021)

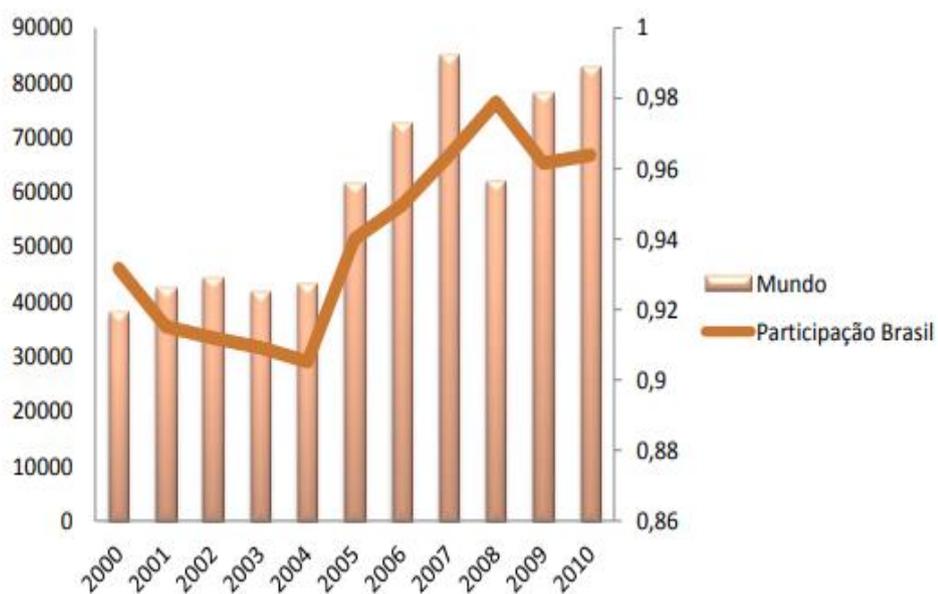
Outro benéfico que Balanço Mineral Brasileiro 2001 (2001), reforça é que a extração do minério nióbio tem grande importância para a balança comercial brasileira, a utilização do nióbio no setor de minero-metalúrgico equivale a 43% do faturamento externo de toda a indústria nacional de ferroligas.

Porém em contrapartida a Pesquisa Fapesp (2019), revela que Cerqueira Leite destaca ainda o restrito mercado do metal como entrave ao aumento de seu consumo. “O nióbio tem inúmeras aplicações, mas, infelizmente, para qualquer uma delas a demanda é muito limitada”, diz o pesquisador, um dos autores do livro Nióbio, uma conquista nacional (Duas Cidades, 1988). “Em suma, não há riqueza se não há mercado. O nióbio talvez seja o exemplo clássico dessa contingência. O ouro tem o preço alto porque há demanda.”

Outro problema que acontece quando falamos em aumentar a produção do nióbio é o desinteresse de outras nações, pelo fato da supremacia brasileira na produção do mineiro.

Procurando contornar essa situação, a CBMM estabeleceu uma política agressiva de pesquisa e desenvolvimento (P&D) baseada em inovação aberta. A empresa investe R\$ 150 milhões por ano na atividade, o que equivale a 3% do faturamento, de R\$ 4,8 bilhões em 2017. (PESQUISA FAPESP, 2019)

Concorde com Silveira (2013), a produção mundial de nióbio vem aumentando ano após ano desde 2000, exceto em 2009, em que teve uma acentuada queda devido à recessão mundial. O autor ainda divulga um gráfico enfatizando a posição de quase monopólio brasileiro na produção mundial de nióbio.



Fonte: DNPM

Figura 11-Produção Mundial de Nióbio e a Participação do Brasil

5.3 Quais benefícios o aço microligados nióbio gera na construção civil.

Embora existam outros elementos químicos também considerados microligantes (e.g. titânio e vanádio), nenhum deles é tão efetivo como o nióbio ao proporcionar o refino de grão dos aços e a obtenção das propriedades mecânicas para os aços como laminados (GLADMAN, 1997).

O minério nióbio, principalmente no processo de soldagem, consegue evitar o envelhecimento por deformação da liga. Como o nióbio propicia uma resposta mais lenta ao envelhecimento, as tensões nos componentes podem ser termicamente aliviadas antes que ocorra a fratura do mesmo. (Carneiro et al. 2016)

Atualmente, cerca de 10% de todo o aço produzido no mundo contém nióbio como elemento de liga em sua composição química. (Carneiro et al. 2016- pág 64)

Conforme o presidente da CBMM menciona Carneiro et al. (2016), os aços nióbios tem principal utilização nas áreas da indústria automobilística, de transporte de gás e óleo e em aplicações estruturais. Com base LUCENA. (2010), o nióbio tem alguns principais usos e funções nas indústrias do Brasil e do Mundo. Na engenharia civil se destaca as placas, fios, folhas e tubos de nióbio pois com eles é possível melhorar o sistema de proteção catódica para grandes estruturas de aço, ou seja, para a proteção das instalações que precisam operar enterradas, submersas ou embutidas no concreto e que não podem ser inspecionadas com facilidade após construídas, somente os sistemas de proteção catódica são eficientes, sendo procedimento obrigatório na manutenção da segurança operacional dessas obras. Os benefícios econômicos da obtenção destas melhores propriedades, com adições tão pequenas de elemento ligante, são a razão para o contínuo aumento do uso dos aços microligados no mercado.

Acordante a visão de Pimenta e Silvestre (2011), uns dos principais benefícios da adição do nióbio nesses aços microligados se dá pelas seguintes razões. A adições de nióbio são menores que 0,05% em massa, o nióbio refina o tamanho de grão promovendo uma microestrutura mais fina e homogênea, o refino de grão é um mecanismo único aumentando resistência e tenacidade do material simultaneamente, com a adição de nióbio permite reduzir o teor de carbono, aumentando a formabilidade plástica e a soldabilidade. O uso de materiais de mais alta resistência permite reduzir o tamanho e o peso das estruturas.

Outro fator que vem encorajando o uso intensivo de aço na construção é o ambiental, com o reconhecimento de que as emissões de dióxido de carbono precisam ser reduzidas continuamente. (PIMENTA; SILVESTRE, 2011, pág-2)

Considerando o relatório Pimenta e Silvestre (2011), ele nos mostra uma visão que os aços modernos para aplicações estruturais, pode nos gerar, segundo o mesmo a definição de aço microligados é quando as propriedades são modificadas através de adição de elementos ligantes. Relatando que mesmo com os baixos teores de adição de nióbio, consegue um resultado de grande aumento de resistência e de tenacidade. E o que impulsiona a utilização dos aços microligados no mercado, é sua baixa adição de elemento tornando economicamente viável.



Figura 12- Construção de viadutos com aços microligados ao nióbio.

Fonte: (Conti)

Outro projeto divulgado pela CBMM é CITIC Tower – “O edifício mais alto de Beijing, com 108 andares e 528 m de altura. O uso do nióbio em sua estrutura possibilitou o seu design mais inteligente, sustentável e arrojado, garantindo as certificações Leed Gold e China Certificate of Green Building Label” Amaral (2018).

Harmônico com Nunes (2009), minérios como o vanádio e o nióbio podem aumentar a resistência do material dos vergalhões na construção civil, com a aplicação do nióbio como microliga em aços carbonos é mais complexo, devido que uma liga de aço com 0,30% de carbono na temperatura de 1250 °C apresenta apenas 0,03% de nióbio em solução. Porém quando se trata de aços de baixo carbono, conseguimos um número maior de solução sólida. Com isso podemos afirmar que apesar da complexidade, quando acrescentado o minério nióbio, não apenas temos um aumento

de resistência, mas também um aumento em sua ductilidade.

O nióbio que não se precipita na austenita irá retardar a transformação austenita/ferrita promovendo a transformação parcial na região da bainita. E ainda pequenos precipitados de carbonetos de nióbio de aproximadamente 2nm vão se formar durante e depois da transformação austenita-ferrita aumentando então a resistência através de endurecimento por precipitação (NUNES, 2009-pág 34)

Comparando os vergalhões com ambos mineiros, o autor Nunes (2009), apresenta uma certa vantagem dos precipitados de nióbio em relação aos nitretos de vanádio, pois com o mineiro de nióbio a resistência aumenta e reduz o tamanho das partículas de seus precipitados, isso ocorre devido a diferença no parâmetro de rede, que acaba ocasionando uma maior tensão na estrutura da ferrita com adição do nióbio. Em efeito de comparação, um aço com a metade da utilização de nióbio, ou seja 0,05%, tem o mesmo efeito de escoamento que um aço com 0,10% de vanádio, gerando uma economia na afluência do elemento microligante.

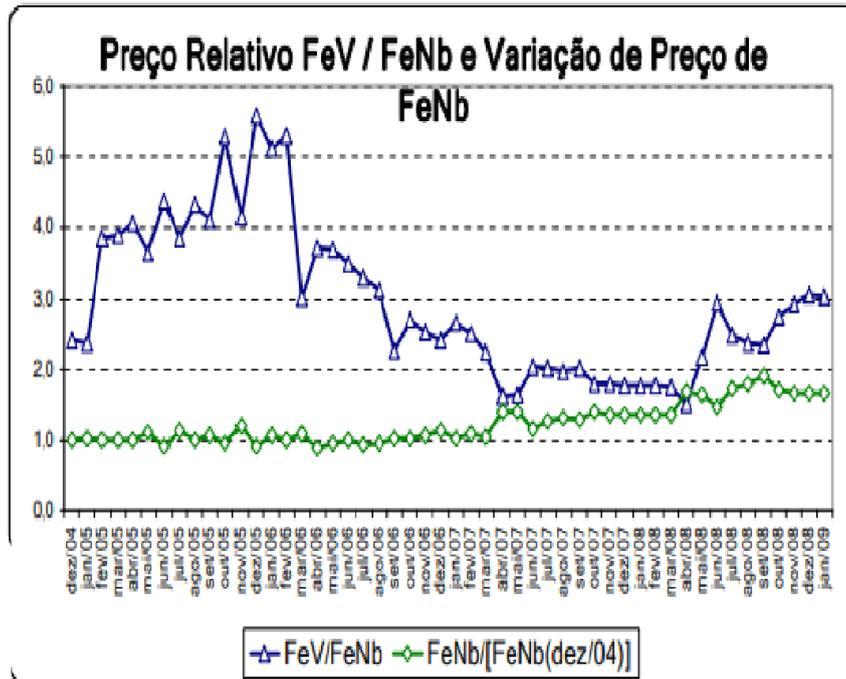
Revela Nunes (2009), que em regiões de baixa temperatura, em torno de -40°C , como no Norte do Canadá e Rússia, é possível utilizar a técnica de construções com vergalhões produzido em rolo e endireitados a frio e também construções de parede de concreto para estucagem subterrânea com temperaturas de -100°C a -120°C .

O desenvolvimento de aços com baixo carbono, manganês e nióbio é realizado na Europa e no Japão. Um exemplo de aço produzido com temperatura final de laminação na região metaestável da austenita, em torno de 750°C (NUNES, 2009-pág 39)

Concluindo o autor Nunes (2009), informa que o uso de aços microligados ao vanádio e nióbio na produção de vergalhões, certifica aumento de resistência e também características como tenacidade e uma boa soldabilidade atendendo os requisitos, entretanto a adição desses minérios agrega um valor a mais no produto final. Geralmente ligas comercializadas possuem 65% de nióbio na liga FeNb e 75% de vanádio na liga FeV.

E um dos fatores que acaba dificultando a utilização das mesmas, é a variação do preço no mercado internacional e variação do cambio. Um ponto positivo da liga FeNb é que nos últimos anos ela manteve seu preço, levando de fato seu maior problema o custo que agrega no final do produto, já que possui necessidade de temperaturas mais altas, gerando maior custo energético.

Tabela 6-Preço Relativo FeV/FeNb e variação de preço de FeNb

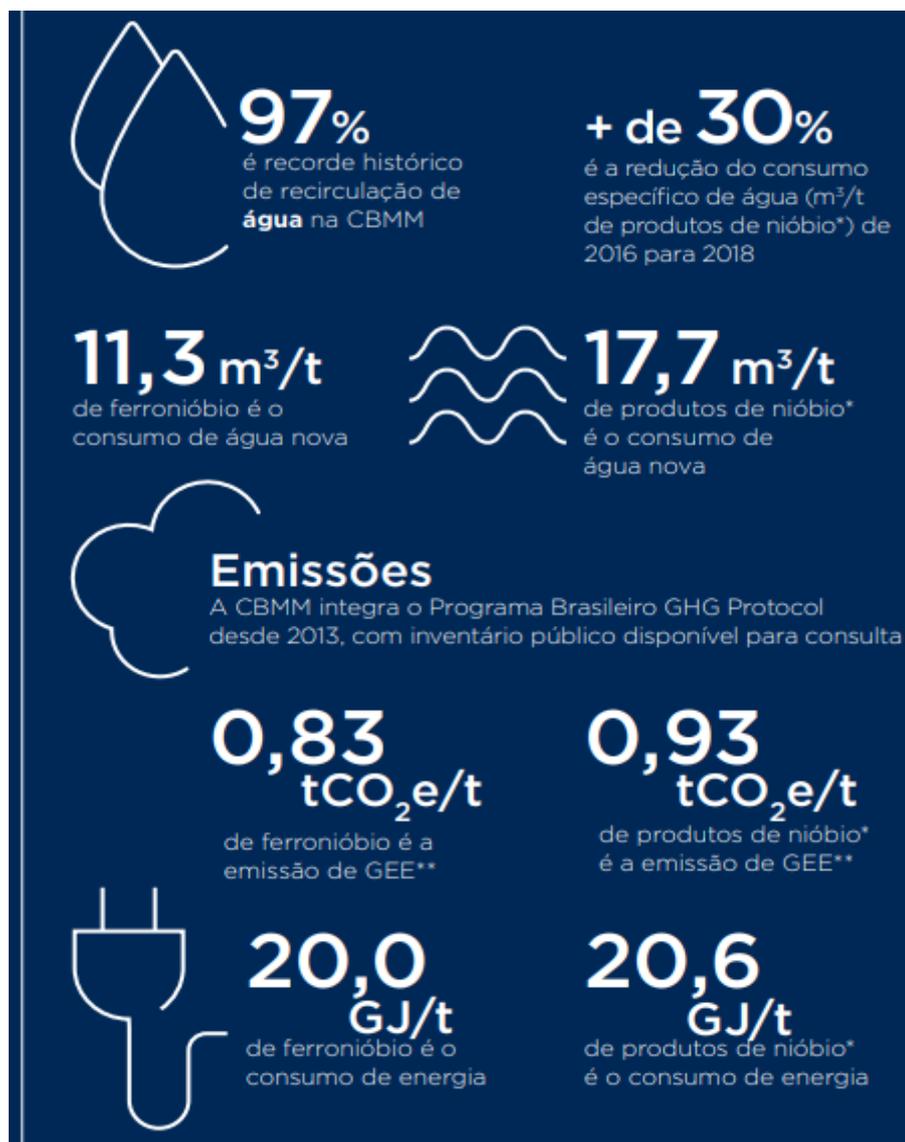


Fonte: (Nunes, 2009)

Em contrapartida Amaral (2018), em seu relatório descreve algumas métricas batida pela empresa produtora dos produtos com o mineral nióbio, foi revelado recorde histórico de recirculação de água na CBMM com 97% da água, isso indica uma redução de 30% de consumo de água (m³/t de produtos de nióbio*) de 2016 para 2018.

Conforme dados ainda de Amaral (2018), desde a integração da empresa na GHG Protocol em 2013, um programa nacional, a emissão de GEE** de ferronióbio chega 0,83 tCO₂e/t, e de produtos de nióbio é 0,93 tCO₂e/t a emissão de GEE**, segue tabela de indicadores.

Tabela 7-Indicadores Ambientais



Fonte: (CBMM)

Congruente com Amaral (2018), no ano de 2018, CBMM Technology, uma subsidiária da CBMM teve como destaque em suas ações a inserção do nióbio no segmento estrutural.

“A CBMM desenvolveu uma estratégia de substituição total ou parcial de elementos, como o vanádio e o manganês por nióbio, o que possibilitou a fabricação de aços para a construção com melhor qualidade final e menores custos”. (AMARAL, 2018- pág 83)

Essa nova estratégia, fez com que comparando com o ano anterior, teve um aumento de 45% de consumo no ferronióbio para os aços estruturais, além da introdução do nióbio nos vergalhões para construção civil. Um dos fundamentos para essas novas estratégias, da se pelo motivo que a china anunciou uma nova norma para vergalhões em construção civil. Aumentando o padrão de qualidade do mesmo, exigindo o uso de aço microligado para ter vergalhões mais resistente, conseqüentemente gerando mais segurança nas edificações. Amaral (2018)

“A CBMM tem mostrado que o nióbio representa a melhor solução para os vergalhões, por aumentar a resistência mecânica sem perda de tenacidade a custos competitivos”. (AMARAL, 2018- pág 83)



Figura 13-CITIC Tower .

Fonte: (Google, 2021)

5.4 Diferenças entre ligas convencionais e a ferronióbio.

Na produção de aços microligados tipo —HSLAII (High-Strength Low Alloy), o ferro-nióbio tem como concorrentes imediatos as ligas ferro-vanádio e ferro-titânio. Principalmente no mercado japonês houve um aumento considerável de ferro-titânio em comparação com as ligas FeNb (SILVA, 1994).

Conforme relata Júnior (2009), o aço tem duas classificações, os planos que são constituídos por chapas tanto grossas como finas laminadas a quente e a frio, e os não planos que é constituído por trilhos, barras de reforço para concreto, fio máquinas, entre outros. Um tipo de aço que permite uma construção mais leve e custo menor, é o aço (ARBL), que é de alta resistência e de baixa liga. Porém para aumentar a resistência de um aço, deve-se elevar o teor de carbono, o que acaba ocasionando uma perda de propriedade de soldabilidade, tenacidade e conformabilidade, a solução que as indústrias tem encontrado é adição de minérios como o Nióbio, o titânio e o vanádio por possuírem alta afinidade com o carbono

A vantagem do nióbio em relação ao vanádio e ao titânio é que ele possui maior resistência; mas ao utilizá-lo em conjunto com os outros elementos, pode possibilitar ganhos de sinergia à liga, como a adição de nióbio e titânio, por exemplo, na liga de alta resistência, confere uma qualidade melhor do produto (JÚNIOR, 2009-pág 130).

Segundo Júnior (2009), quando falamos de aços microligados, o nióbio apresenta melhor vantagem em relação aos outros dois elementos, não apenas em suas propriedades físico-químicas, mas também por ser um metal abundante no país.

Fica claro que os aços microligados podem se utilizados em várias funções, tais como vergalhões na fabricação de barras para concreto armado, na fabricação de trilhos e também em locais de altas atividades sísmicas. Júnior (2009)



Figura 14-Vergalhão para Concreto Armado

Fonte: (Google, 2021)

Um outro fator predominante, seria por exemplo o tântalo, possui preços mais elevados em relação ao nióbio além de ter maior densidade. Uma condição que pode estar auxiliando a construção de grandes edificações, é devido o seu baixo peso e maior resistência, assim como as indústrias automotivas utilizam para fabricações de seus automóveis, podemos utilizar o nióbio para diminuir pesos de ferragens, como no concreto armado.

Em conformidade com Pesquisa da Puc (2013), foi realizado uma pesquisas para avaliar os efeitos da adição de nióbio como elemento de liga em substituição ao molibdênio no ferro fundido nodular austemperado (Austempered Ductile Iron– ADI) com a intenção de melhorar propriedades como resistência ao desgaste, impacto e tração, além de reduzir gastos na aquisição desse elemento. Devido suas propriedades mecânicas, como ductilidade e elevada resistência mecânica ao desgaste, alta resistência a fadiga e tenacidade à fratura, o ADI tem sido um importante material para engenharia.

O orientador da pesquisa professor Pedro Paiva Brito, relata que “Em razão de suas propriedades mecânicas, o ADI está sendo usado em estruturas, componentes

automotivos, ferroviários, da mineração e equipamento de construção civil”.

A pesquisa da Puc (2013), teve como objetivo avaliar os resultados na troca do molibdênio pelo nióbio ADI, buscando o melhoramento das propriedades de resistência ao desgaste, impacto e tração, e ainda a busca de preços melhor na aquisição do elemento.

Teve como resultado dos testes segundo Tomás um dos integrantes da pesquisa Puc (2013), “em termos de propriedades mecânicas, a adição de molibdênio provocou uma queda na resistência à tração do material austemperado de aproximadamente 1.250 megapascal (MPa) para 1000 MPa na liga com nióbio. Por outro lado, houve uma melhora desta no alongamento máximo, saindo de 12% para 14% com a nova mistura. “Esse alongamento é medido no ensaio de tração, onde esticamos as duas ligas para medir até onde resistem antes de se romper. Quanto mais esticar, melhor”. Outro fator positivo seria o preço da liga de ferro com nióbio, que seria de aproximadamente US\$ 33 mil a tonelada, já o molibdênio além da necessidade de exportação ele chegou a US\$73 mil a tonelada, com isso concluiu-se que além das propriedades a utilização do nióbio se torna mais viável analisando o seu custo benefício.

Como uma forma de mostrar os benefícios de seus produtos com adição de nióbio, foi divulgado através de Cbmm (2017), que o novo instituto Moreira Salles, prédio da empresa CBMM inaugurado em 2017, em São Paulo, foi construído com aços estruturais contendo nióbio produzido em Araxá (MG). Essa edificação possui um núcleo de concreto e é contornada por uma pele de vidro.



Figura 15- Prédio do Instituto Moreira Salles (IMS)

Fonte: (CBMM, 2017)

Empresas asiáticas aprovaram o conceito de substituir parcialmente o manganês pelo nióbio para redução de custos na fabricação de aços estruturais. Na China, as siderúrgicas envolvidas concluíram ser possível atingir uma economia de até US\$ 5 por tonelada de aço. (CBMM, 2017- pág 32)

Conforme ainda menciona o relatório Cbmm (2017), essa redução ocorre devido ao teor baixo de nióbio, pois é necessário apenas 0,01% de nióbio, em contrapartida para ter o mesmo resultado é necessário o uso de 0,5% de Mn, conseguindo não alterar as propriedades do aço. Na Índia já esta sendo utilizado esse conceito na substituição de manganês e do vanádio, com objetivo de redução de custo.

Outro exemplo que é mencionado da utilização dos aços estruturais com nióbio, é a Ponte do Vale Do Millau na França



Figura 16-Nióbio aplicado em aços estruturais: Ponte do Vale do Millau na França
Fonte: (CBMM, 2017)

Convergente ao Mundo Engenharia (2016), o Viaduto de Millau, é a ponte mais alta do mundo, com intuito de facilitar a travessia do vale do rio Tam, na França, foi inaugurada em 2014. Antes da construção da mesma gerava muito congestionamentos de veículos na descida até o vale do rio.

Esta ponte foi projetada pelo arquiteto inglês Norman Foster e pelo engenheiro francês Michel Virlogeux, sua altura alcança 343 metros mais alta que a torre Eiffel. Mundo Engenharia (2016)

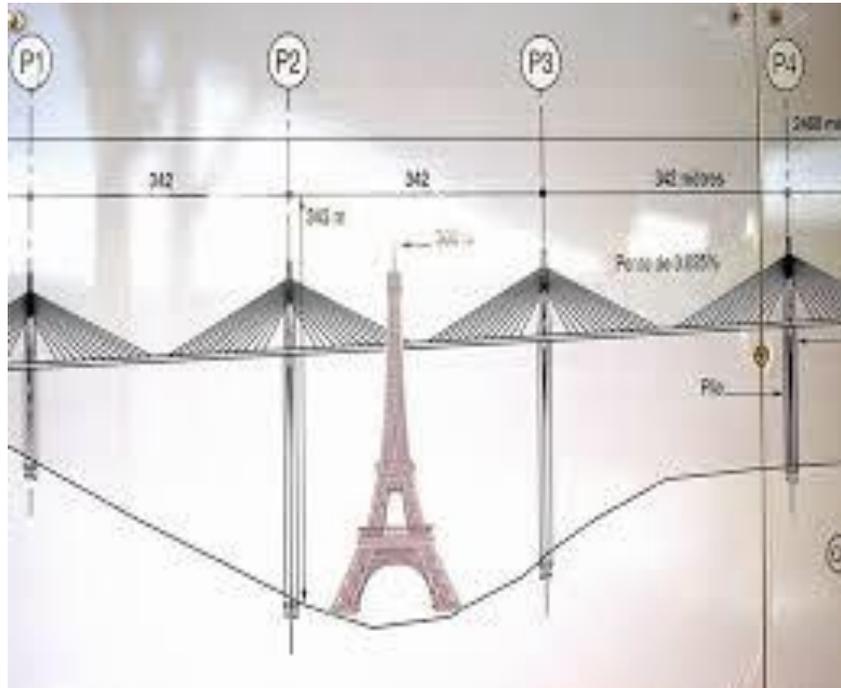


Figura 17-Viaduto de Millau 343 metros mais alta que a torre Eiffel

Fonte: (engenharia, 2016)

Sua construção teve sete pilares de concreto armado, para sustentar o tabuleiro de 2460 metros de comprimento, seu tabuleiro é constituído por 8 trechos de aço e suportado por cabos estaiados. O viaduto tem um peso total de 36 mil toneladas, 32 metros de largura e 4,2 metros de espessura. Gerando um custo em sua construção de 394 milhões de euros, utilizando um total de 127,000 metros cúbicos de concreto, 19,000 toneladas de aço e 5,000 toneladas de aço pré-estirado. (Mundo engenharia, 2016)

5.5 Comparação de obra com aços microligados nióbio para obras Convencionais

Para conseguirmos fazer uma comparação na prática dos aços microligados nióbio, levamos como base o relatório Pimenta e Silvestre (2011), onde retrata um caso real de um edifício industrial, esse projeto foi realizado em parceria com a CODEME A empresa que mais constrói prédios em aço na América Latina, com a Mineradora CBMM, o projeto tinha como objetivo construir a nova planta de sinterização da CBMM em Araxá, Minas Gerais.

Os aços que continha a tecnologia nióbio foram utilizados no projeto estrutural das vigas e perfis. A nova instalação faz parte do projeto de expansão de produção para 150,000 toneladas por ano. Esta obra foi realizada em 2011 pela especialista em estruturas em aço CODEME Engenharia, teve duração de 10 meses.



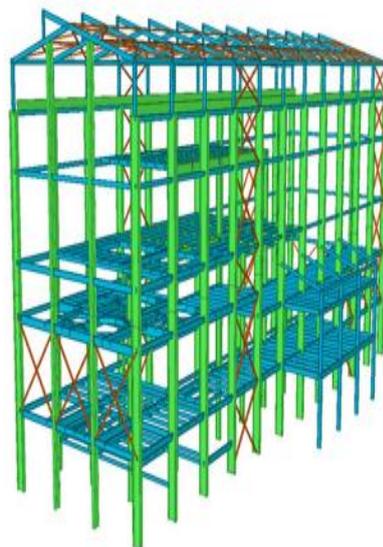
Figura 18- Planta de sinterização da CBMM em Araxá, Minas gerais
Fonte: Pimenta e Silvestre (2011)

Segundo Amaral (2018), o aço microligado com nióbio oferece a combinação inigualável de maior resistência, melhor tenacidade, maior capacidade de dobra e melhor absorção de energia para o suporte estrutural, em resposta a eventos sísmicos, incêndios e condições meteorológicas extremas. O aumento da resistência e tenacidade dos aços de infraestrutura contendo Nb permite uma redução no tamanho e no peso dos produtos estruturais, resultando em menores custos de transporte, fabricação e montagem; uma pegada de carbono reduzida; e uma construção de projeto mais eficiente.



Figura 19- Construção da fábrica sinterização da CBMM em Araxá, Minas gerais
 Fonte: Pimenta e Silvestre (2011)

O prédio de Sinterização II é de aço estrutural, composto por vigas e chapas laminadas a quente e perfis soldados de ASTM A572 Gr 50 microligado e perfis laminados a quente de aço de carbono ASTM A36. (Pimenta e Silvestre 2011-pág 15)



Legend	Shape Type	Steel Type	Weight (kg)
	 H Welded shapes	ASTM A572 Gr. 50 Microalloyed steel	156.809
	 W Hot-rolled shapes	ASTM A572 Gr. 50 Microalloyed steel	104.282
	 Angles Hot-rolled shapes	ASTM A36 Regular carbon steel	22.614
Total amount of structural steel			283.705

Figura 20- Estrutural de Aço
 Fonte: Pimenta e Silvestre (2011)

A empresa fez a divulgação da especificação dos aços utilizados na construção do prédio de Sinterização II.

Tabela 8-Especificações dos aços

Designação Padrão	Aplicação	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Deformação (%)	Composição Química(%)					
					C	Mn	Si	P	S	Nb
ASTM A 572 Gr. 50	Perfis Soldados	>345	>450	>21	<0,23	0,45-1,35	<0,40	<0,04	<0,05	0,005-0,05
ASTM A 572 Gr. 50	Perfis Laminados a Quente	>345	>450	>18	<0,23	0,45-1,35	<0,40	<0,04	<0,05	0,005-0,05
ASTM A 36	Perfis Laminados a Quente	>250	400-550	>20	<0,26	-	<0,4	<0,04	<0,05	-

Fonte: Pimenta e Silvestre (2011)

Na imagem a seguir a empresa divulga um comparativo de diferença de dimensões entre as vigas de aço carbono e aços ao nióbio.

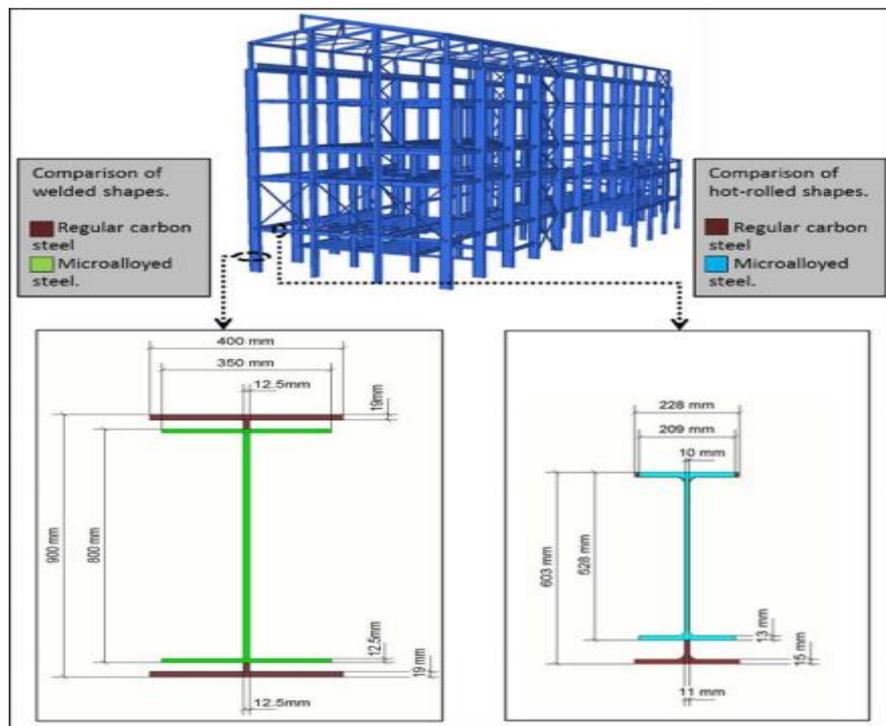
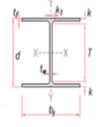
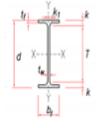
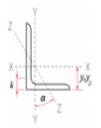


Figura 21-dimensões entre as vigas de aço carbono e aços ao nióbio.

Fonte: Pimenta e Silvestre (2011)

Essa desigualdade se dá pela diferença de massa, já que com a utilização de aço nióbio além do aumento na resistência, consegue uma diminuição do carbono. Segue abaixo a tabela com dados da redução de massa desse projeto.

Tabela 9-Redução de Massa

Forma	Projeto A	Projeto B	Diferença (Kg) B - A	Diferença (%) Redução de consumo adotando o projeto A
	Massa (Kg) ASTM A572 Gr. 50 Aço de alta resistência	Massa (Kg) ASTM A36 Aço carbono tradicional		
 Tipo H – perfil soldado	156.809	210.633	53.824	26
 Tipo H– laminado a quente	104.282	129.255	24.973	19
 Tipo L – viga laminada a quente	22.614	22.614	-	0
TOTAL:	283.705	362.502	78.797	22

Fonte: Pimenta e Silvestre (2011)

Outro fator que influencia na utilização do aço nióbio, é a sustentabilidade que é gerado com a produção do mesmo, hoje a engenharia civil é responsável por boa parte das emissões de gás CO₂, entretanto a proposta da CODEME engenharia com CBMM faz um comparativo, onde um carro europeu médio roda 30.000 km por ano, gerando 4.500 kg de dióxido de carbono. Com a utilização do aço nióbio se equivale a redução de 21,7 % ou 127.972 kg de CO₂ atingida, que é o equivalente as emissões de 28 carros europeus por um ano. Pimenta e Silvestre (2011)

Tabela 10-Redução na Emissão de CO₂

Linha Produtiva	Referência	Projeto A (HSS)	Projeto B (Aço Carbono)	Redução = B - A
	Emissão de CO ₂ (kg/t aço)	Emissão de CO ₂ para 284 t de aço (kg)	Emissão de CO ₂ para 363 t de aço (kg)	Redução na Emissão de CO ₂ (kg)
Coqueria	51	14.512	18.549	4.037
Alto-forno	1.000	284.000	363.000	79.000
Convertedor BOF	245	69.495	88.826	19.331
Met. Panela e Vácuo	39	10.962	14.012	3.049
Ling. Contínuo	20	5.623	7.187	1.564
Lam. a Quente	189	53.534	68.426	14.892
Decapagem	77	21.925	28.024	6.099
TOTAL	1.620	460.052	588.024	127.972

Fonte: Niobium-Bearing Plate Steels for the 21st Century

Também foi possível observar uma redução de energia, com um benefício de 21% de eficiência de energia no projeto, fazendo um comparativo com os aços carbono convencionais teve uma economia de 1,779 GJ, conforme mostra a tabela abaixo.

Tabela 11-Redução no Consumo de Energia

Linha Produtiva	Referência	Projeto A (HSS)	Projeto B (Aço Carbono)	Redução = B – A
	Consumo de Energia (GJ / t aço)	Consumo de energia para 284 t de aço (GJ)	Consumo de energia para 363t de aço (GJ)	Redução no consumo de energia (GJ)
Coqueria	3,89	1.105	1.412	307
Alto-forno	12,48	3.544	5.530	986
Convertedor BOF	1,02	290	370	81
Met. Painel e Vácuo	0,72	204	261	57
Ling. Contínuo	0,34	97	123	27
Lam. a Quente	2,67	758	969	211
Decapagem	1,40	398	508	111
TOTAL	22,52	6.396	8.175	1.779

Fonte: Niobium-Bearing Plate Steels for the 21st Century

Concluindo a obra obteve-se redução de custos na estrutura, conforme demonstra a tabela a seguir.

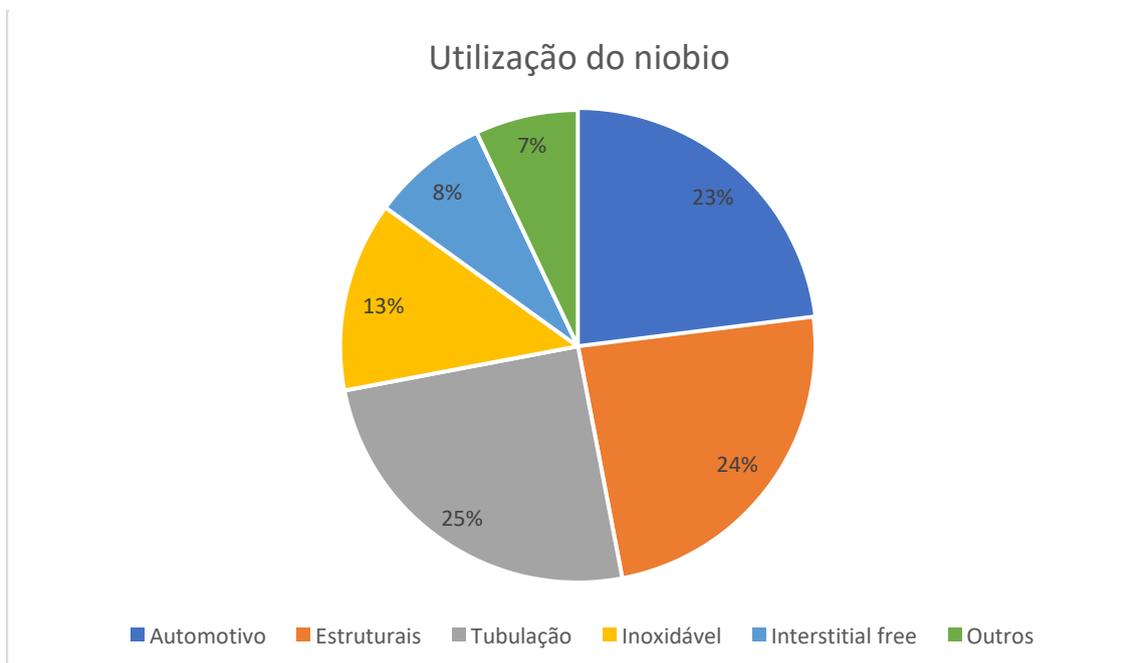
Tabela 12-Custos na Estrutura

Tipo de Aço	Massa Total (%)	Preço unitário do aço (%)	Custo total (%)
ASTM A36 – Aço carbono convencional	100	100	100
ASTM A572 Gr. 50 – Aço de alta resistência	78	106	83
Redução de custo adotando aços microligados			17

Fonte: Pimenta e Silvestre (2011)

Fundamentando se em Pimenta e Silvestre (2011), segundo o relatório ao final da construção, os aços nióbio apresentam os seguintes benefícios redução de massa 22% e uma diminuição na emissão de CO₂ = 21,7% ou 27.972 kg de dióxido de carbono, já nos gasto energético conseguiu uma moderação de gasto de 21% ou 1.779 GJ, chegando a redução de custo = 17% na estrutura. Com isso a utilização de nióbio em estruturas vem aumentando, a CBMM divulgou dados da utilização do nióbio em 2010, conforme a tabela a baixo.

Tabela 13-Utilização do nióbio



– Aplicação do Nióbio em Produtos de Aço. Fonte: CBMM, 2010

Em 2008, teve a inauguração em Pequim, Citic Tower, um prédio de 108 andares e 528 metros de altura. Popularmente chamado na China de Zun, pois o mesmo tem semelhança com um jarro chinês, com o qual servia vinho nas cerimônias, essa torre ocupa a oitava posição de edifícios mais alto do mundo. Esse modelo de prédio foi possível devido ao uso do nióbio em sua estrutura, possibilitando esse design mais inteligente, sustentável e arrojado, garantindo as certificações Leed Gold e China Certificate of Green Building Label. (AMARAL, 2018)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram adquiridos através de pesquisa bibliográfica, para que a partir disso fosse possível obter os dados necessários para a discussão e resultado. Esses resultados foram divididos do seguinte modo: Demanda de aços microligados nióbio, Resultado da Comparação de qualidade liga nióbio para aços carbono convencionais, comparativo de preços entre aços convencionais e microligados nióbio.

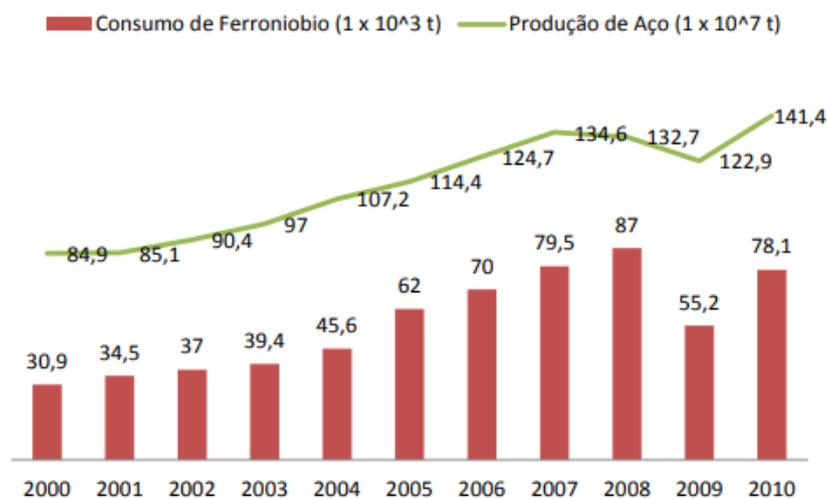
6.1 Demanda de aços microligados nióbio

Conforme afirmado por World Steel Association (2015), no ano de 2014 teve uma

demanda, de aproximadamente a metade da produção de aço mundial voltada para a construção civil, esse valor gira em torno de 832,5 tonelada, com uma proporção de 25% na forma de perfil laminado, 44% em vergalhão, ou barras para concreto armado, e os 31% restante na forma de chapas. E segundo o autor devido o crescimento das atividades industriais, aumento da população e substituição de infraestruturas antigas, o crescimento da demanda por o uso do aço em geral, tendendo a ter um crescimento exponencial.

Com fundamento na Pesquisa Fapesp(2019), é possível afirmar que haverá grande demanda na procura do aços microligados nióbio, pois a detentora de maior produção do mesmo investe 3% de seu faturamento, um valor próximo de R\$ 150 milhões por ano.

Outro fator que podemos apontar se refere à tendência de aumento na quantidade de nióbio utilizado nessas ligas de aço, que saiu de uma média de 40g de nióbio por tonelada de aço para 62gr/t11, em 2008. Conforme demonstra o gráfico abaixo, o crescimento acentuado da produção de aço no mundo, impulsionando principalmente pela china, consequentemente o aumento de consumo da liga (SILVEIRA, 2013 pág-40)



Fonte: IAMGOLD

Figura 22-Produção de Aço e Consumo de Ferronióbio no mundo

Concorde com Silveira (2013), a produção mundial de nióbio vem aumentando ano após ano desde 2000, exceto em 2009, em que teve uma acentuada queda devido à recessão mundial.

6.2 Resultado da Comparação de qualidade liga nióbio para aços carbono convencionais

Podemos afirmar que umas das vantagens segundo Júnior (2009), para aumentar

a resistência de um aço, deve-se elevar o teor de carbono, o que acaba ocasionando uma perda de propriedade de soldabilidade, tenacidade e conformabilidade, a solução que as indústrias tem encontrado é adição de minérios como o Nióbio, o titânio e o vanádio por possuírem alta afinidade com o carbono. Outra vantagem do nióbio em relação aos seus concorrentes vanádio e ao titânio, é devido sua maior resistência, porém quando utilizado em conjunto com outros elementos, possibilita um ganho de sinergia à liga, conferindo uma liga de alta resistência e um produto de qualidade melhor.

Baseando em Pimenta e Silvestre (2011), podemos notar que o projeto realizado pela CODEME Engenharia em conjunto com a CBMM, divulga na Figura 21, uma diminuição de massa devido a utilização do nióbio, devido a diminuição do carbono, sem perda de resistência.

Um ponto negativo levantado por um teste feito pela Puc (2013), “em termos de propriedades mecânicas, a adição de molibdênio provocou uma queda na resistência à tração do material austemperado de aproximadamente 1.250 megapascal (MPa) para 1000 MPa na liga com nióbio. Por outro lado, houve uma melhora desta no alongamento máximo, saindo de 12% para 14% com a nova mistura.

Outro lado negativo, que possui elementos substitutos imperfeitos para o nióbio, apesar de ser indesejável por possíveis perdas de eficiência ou incorrer em maiores custos como menciona U.S. Geological Survey, (2021).

“O maior concorrente do nióbio são os aços feitos sem nióbio”, diz Stuart. Outros metais, como molibdênio e vanádio, também são usados como aditivos ao aço, mas sem os mesmos resultados. (Pesquisa Fapesp-2019).

Analisando na prática a diferença da utilização do nióbio em uma construção, fundamentado em Pimenta e Silvestre (2011), foi possível obter um reajuste de 17% na estrutura quando comparado com aços convencionais, a obra também foi beneficiada com 22% de diminuição de massa conforme mostra a Tabela 12, além disso pensando em sustentabilidade foi possível uma diminuição de 21.7% de CO₂ e redução de gasto energético em torno de 21% quando comparado a obras com materiais convencionais.

6.3 Comparativo de preços entre aços convencionais e microligados nióbio

Fundamentado na Pesquisa Fapesp (2019), conseguimos observar que o preço do nióbio está entre US\$ 40 e US\$ 50 o quilograma, e reage de acordo com o mercado. E uma das vantagens para que adquirir o minério nióbio, como o Brasil é detentor de quase um monopólio do minério, se o preço aumentar de forma irracional e especulativa, já que os clientes buscarão outras opções

Outro dado que podemos estar inserindo conforme menciona Macedo (2013), o preço medio da liga ferro nióbio, no ano de 2008, chegou a um preço de aproximadamente US\$33 mil a tonelada. Comparando com um de seus concorrentes a liga molibdênio ultrapassou a barreira de US\$73 mil a tonelada.

Chegando a conclusão que o preço do minério não seria um problema, conseguindo mais pesquisas sobre esse metal, em obras de grande porte conseguimos uma vantagem também ao final da obra, devido a utilização de menor quantidade de aços.

7 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou analisar, as diferenças entre aços microligados na construção civil, mostrando os benefícios e desvantagens da utilização do nióbio como elemento de liga. Além de trabalhos acadêmicos e livros, foi possível utilizar dados de uma obra executada pela CBMM e CODEME Engenharia, tornando mais claro o entendimento da utilização desse elemento, possibilitou identificar que o nióbio é o que foi a borracha há um século para o desenvolvimento industrial das potências mundiais da época.

De forma geral, podemos citar que a atual demanda para o nióbio no mercado internacional representa menos de 0,5% das reservas até então identificadas. Assim, as reservas minerais de nióbio são suficientes para atender a demanda por um longo prazo, ainda que o consumo de produtos do nióbio aumente sobremaneira. Permitindo pensar em investir mais na área da construção, não precisa de muito para perceber que a utilização do nosso nióbio em nossas obras é necessária, podemos começar com a comparação com outros minérios, com uso de 0,01% de nióbio permite a substituição de até 0,5% de Mn, sem alteração das propriedades mecânicas.

Fica evidente que o objetivo de uma solução viável para o avanço da construção civil em estruturas mais leves e mais baratas, serão supridos pelas vantagens do aço microligado nióbio.

Os benefícios econômicos da obtenção destas melhores propriedades, com adições tão pequenas de elemento ligante, são a razão para o contínuo aumento do uso dos aços microligados no mercado.

Podemos concluir que o nióbio é um elemento que precisa ser muito estudado ainda, com foco maior na engenharia civil, ele vem se mostrando muito vantajoso para obras de grande porte, trazendo segurança e o principal, gerando economia no projeto, devido a utilização de um teor menor do minério sem perder suas propriedades.

O presente trabalho tinha como objetivo demonstrar as vantagens da utilização

do nióbio em estruturas de aço, chegando a conclusão de inúmeras vantagens desse mesmo sobre seus principais concorrentes, acreditando com nova pesquisa em cima desse conteúdo, podemos futuramente utilizar em todos os tipos de obras.

8 REFERÊNCIAS

Referência: CBCA (Rio de Janeiro). Cbca - Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Aços Estruturais**. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/acos-estruturais/>. Acesso em: 14 maio 2021.

Citação com autor incluído no texto: Cbca (2021)

Citação com autor não incluído no texto: (CBCA, 2021)

Referência: NARDIN, Fabiano Ângelo. **A Importância da Estrutura Metálica na Construção Civil**: vantagens de uso das estruturas de aço. 2008. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2008. Cap. 1.

Citação com autor incluído no texto: Nardin (2008)

Citação com autor não incluído no texto: (NARDIN, 2008)

IAMGOLD Corporation. < <http://www.iamgold.com/>>

Referência: FERRAZ, Henrique. O Aço na Construção Civil: classificação dos aços. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos Sp, v. 1, n. 22, p. 1-63, dez. 2003. Disponível em: <https://www.ft.unicamp.br/~mariaacm/ST114/O%2520A%25C7O%2520NA%2520CONSTRU%25C7%25C3O%2520CIVIL.pdf> Acesso em: 22 abr. 2021.

Citação com autor incluído no texto: Ferraz (2003)

Citação com autor não incluído no texto: (FERRAZ, 2003)

Referência: SILVEIRA, Jáilson Weilly. **Competição no Mercado Internacional de Nióbio: Um Estudo Econométrico**: reservas, produção e consumo mundial. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro Instituto de Economia, Rio de Janeiro, 2013.

Citação com autor incluído no texto: Silveira (2013)

Citação com autor não incluído no texto: (SILVEIRA, 2013)

Referência: PESQUISA DA PUC. Minas Gerais: Estado de Minas Tecnologia, 08 jul. 2013. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/tecnologia/2013/07/08/interna_tecnologia,418415/pesquisa-da-puc-mostra-que-misturar-o-niobio-ao-ferro-fundido-traz-muitas-vantagens.shtml. Acesso em: 16 maio 2021.

Citação com autor incluído no texto: Pesquisa da Puc (2013)

Citação com autor não incluído no texto: (PESQUISA DA PUC, 2013)

Gladman, t. (1997) the Physical Metallurgy of Microalloyed Steel. Maney For The institute of Materials. 363p.

Referência: PIMENTA, Roberval José; SILVESTRE, Leonardo Magalhães. **Benefícios do uso de aços microligados ao Nióbio em edifícios industriais**. Araxá: Cbmm e Codeme, 2011. 22 slides, color.

Citação com autor incluído no texto: Pimenta e Silvestre (2011)

Citação com autor não incluído no texto: (PIMENTA; SILVESTRE, 2011)

Referência: MACEDO, Kleber Silva. Aplicações da liga ferro nióbio. In: MACEDO, Kleber Silva. **AGLOMERAÇÃO DE FINOS DA LIGA FERRO NIÓBIO POR BRIQUETAGEM**. Catalão/Go: Universidade Federal de Goiás – Ufg,, 2014. p. 1-62.

Citação com autor incluído no texto: Macedo (2014)

Citação com autor não incluído no texto: (MACEDO, 2014)

U.S. Geological Survey, 2021, Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2021>. ISBN 978-1-4113-4398-6

Referência: SILVA, Luiz Gonzaga Oliveira e. **Nióbio: Mercado nacional e internacional Modelo de Previsão do consumo de ferro-Nióbio**. 1994. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração e Política de Recursos Minerais, Universidade Estadual de Campinas Instituto de Geociências, Campinas, São Paulo, 1994.

Citação com autor incluído no texto: Silva (1994)

Citação com autor não incluído no texto: (SILVA, 1994)

Referência: CONFEA. **Governo debate uso de nióbio em obras de engenharia**. 2019. Disponível em: <https://www.confea.org.br/com-apoio-do-confea-governo-debate-uso-de-niobio-em-obras-de-engenharia-0>. Acesso em: 18 maio 2021.

Citação com autor incluído no texto: Confea (2019)

Citação com autor não incluído no texto: (CONFEA, 2019)

Referência: IBDA. **O uso do aço na construção civil**. 2021. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=19&Cod=2349>. Acesso em: 27 maio 2021.

Citação com autor incluído no texto: Ibda (2021)

Citação com autor não incluído no texto: (IBDA, 2021)

Referência: PESQUISA FAPESP. Brasil: Fapesp, 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-polemico-niobio/>. Acesso em: 15 abr. 2021.

Citação com autor incluído no texto: Pesquisa Fapesp (2019)

Citação com autor não incluído no texto: (PESQUISA FAPESP, 2019)

Referência: LIMA, José Maria Gonçalves de. **Perfil da Mineração do Nióbio**. 20. ed. Brasil: Ministério de Minas e Energia - MME, 2010. 49 p.

Citação com autor incluído no texto: Lima (2010)

Citação com autor não incluído no texto: (LIMA, 2010)

Referência: BALANÇO MINERAL BRASILEIRO 2001. Manuais: DnPM, 2001.

Citação com autor incluído no texto: Balanço Mineral Brasileiro 2001 (2001)

Citação com autor não incluído no texto: (BALANÇO MINERAL BRASILEIRO 2001, 2001)

Welford R.J. Regional development and environmental management: new opportunities for cooperation. *Scand J Manage* 1996;12(3):347–57.

Holloway L. Material selection for optimal environmental impact in mechanical design. *Mater Des* 1998;19:133–43.

Webster S, Drewett L. The EU Project Hiperc - High-Performance, Economic Steel Concept for Linepipe and General Structural Use. *Niobium Bearing Structural Steels – TMS*. 2010; 201-217.

Referência: CARNEIRO, Tadeu *et al.* **Recursos Minerais no Brasil: nióbio :: desenvolvimento tecnológico e liderança**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências (Abc), 2016. 422 p.

Citação com autor incluído no texto: Carneiro *et al.* (2016)

Citação com autor não incluído no texto: (CARNEIRO *et al.*, 2016)

Referência: LUCENA, João Marcelo Cruz de. **MERCADO DE NIÓBIO**. 2010. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2010. Cap.

Citação com autor incluído no texto: LUCENA. (2010)

Citação com autor não incluído no texto: (Lucena, 2010)

Referência: AMARAL, Thiago de Souza (org.). **RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE 2018**. Araxá, Minas Gerais: Cbmm, 2018. 104 p.

Citação com autor incluído no texto: Amaral (2018)

Citação com autor não incluído no texto: (AMARAL, 2018)

Referência: NUNES, Leonardo Miranda. **DESENVOLVIMENTO DE AÇO MICROLIGADO PARA A PRODUÇÃO DE VERGALHOES NERVURADOS:** desenvolvimento de aço microligado para a produção de vergalhoes nervurados. 2009. 22 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Puc-Rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Puc-Rio, Rio, 2009.

Citação com autor incluído no texto: Nunes (2009)

Citação com autor não incluído no texto: (NUNES, 2009)

Referência: CBMM (Araxá (Mg) – Brasil). **CBMM RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE 2017**. Araxá: Cbmm, 2017.

Citação com autor incluído no texto: Cbmm (2017)

Citação com autor não incluído no texto: (CBMM, 2017)

Referência: MUNDO ENGENHARIA (org.). **Viaduto de Millau a maior Ponte do Mundo**. 2016. Disponível em: <http://mundoengenharia.com.br/maior-ponte-do-mundo-viaduto-de-millau/>. Acesso em: 26 maio 2021.

Citação com autor incluído no texto: Mundo Engenharia (2016)

Citação com autor não incluído no texto: (MUNDO ENGENHARIA, 2016)

[1] SIMON, P.; ECONOMOPOULOS, M.; NILLES, P. Tempcore: A New Process for the Production of High-Quality Reinforcing Bars. *Iron and Steel Engineering*, mar. 1984. p. 53-57

[2] FILHO, Cláudio Henrique Macedo Alves. Análise da Influência da Taxa de Resfriamento no Gradiente Microestrutural de Barras Laminadas a Quente Tratadas 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil 4450 8 Termicamente. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba 2004. 133 p.

Referência: ARAUJO, Douglas Magalhães de. **A UTILIZAÇÃO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTRUTURAS METÁLICAS:** aços para a construção civil. 2019. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Cesmac, Maceió – Alagoas, 2019. Cap. 1.

Citação com autor incluído no texto: Araujo (2019)

Citação com autor não incluído no texto: (ARAUJO, 2019)

Referência: CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. In: CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica:** processos de fabricação e tratamento. 2. ed. São Paulo: Abdr, 1996. Cap. 5. p. 1-165.

Citação com autor incluído no texto: Chiaverini (1996)

Citação com autor não incluído no texto: (CHIAVERINI, 1996)

SOUSA, R. M. F.; **FERNANDES**, L. E.; **GUERRA**, W.; Nióbio, Química Nova na Escola, v.35, p. 68-69, **2013**.

Referência: P. JÚNIOR, Rui Fernandes. Nióbio: usos e substituições. In: DIDEM, Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral – (ed.). **ECONOMIA MINERAL DO BRASIL**. Brasília-Df: Dnpm, 2009. p. 129-148.

Citação com autor incluído no texto: Júnior (2009)

Citação com autor não incluído no texto: (JÚNIOR, 2009)

World Steel Association. Steel Markets, Buildings and Infrastructures. 2015; Disponível em: <http://www.worldsteel.org/Steel-markets/Buildings-andinfrastructure.html>.