

## **AÇO ENRIQUECIDO COM NIÓBIO: UMA ALTERNATIVA INTELIGENTE, EFICAZ E ECONÔMICA EM OBRAS DE GRANDE PORTE**

THIAGO SILVESTRE RODRIGUES MOREIRA<sup>1</sup>, GUSTAVO PINHEIRO OLIVEIRA NUNES<sup>2</sup> e LUIZ SOARES CORREIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil, UNIPLAN, Brasília-DF, email: thiagosilvestre26@gmail.com;

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Civil, UNIPLAN, Brasília-DF, email: gn027849@gmail.com;

<sup>3</sup>Msc em Transportes, PPGT/UNB, Prof. Adj. Engenharia, UNIP, Brasília-DF, email: luiz.correia11@docente.suafaculdade.com.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
04 a 06 de outubro de 2022

**RESUMO:** O presente artigo traz em seu escopo abordagens de estudos feitos sobre a aplicação do aço enriquecidos com Nióbio. O aço é um material funcional e versátil, mas que pode ser potencializado. O Nióbio, elemento de número atômico 41, pertencente à classe dos metais de transição do grupo 5 da tabela periódica, apresenta características que pode contribuir para a otimização do aço. Na metodologia foi utilizada a pesquisa bibliográfica exploratória. Como resultados, foi possível observar que o aço enriquecido com Nióbio, diminui consideravelmente a corrosão intergranular dos aços inoxidáveis e ajuda a reduzir a quantidade de carbono no aço, assim, o nióbio exerce forte influência nas propriedades mecânicas do aço.

**PALAVRAS-CHAVES:** Construção Civil; Aço; Nióbio; Redução de Custos.

### **NIObIUM-ENRICHED STEEL: A SMART, EFFECTIVE AND ECONOMICAL ALTERNATIVE FOR LARGE PROJECTS**

**ABSTRACT:** The present article brings in its scope approaches of studies carried out on the application of steel enriched with Niobium. Steel is a functional and versatile material, but it can be enhanced. Niobium, element with atomic number 41, belonging to the class of transition metals in group 5 of the periodic table, has characteristics that can contribute to the optimization of steel. In the methodology, exploratory bibliographic research was used. As a result, it was possible to observe that steel enriched with niobium considerably reduces the intergranular corrosion of stainless steels and helps to reduce the amount of carbon in the steel, thus, niobium exerts a strong influence on the mechanical properties of steel.

**KEYWORDS:** Civil Construction; Steel; Niobium; Cost Reduction.

### **INTRODUÇÃO**

O Brasil está entre os 10 maiores produtores de aço do mundo, podendo contar com 32 usinas produzindo aço, com capacidade para gerar mais de 51 toneladas do material a cada ano.

Por conta de sua versatilidade, o aço é um importante componente utilizado na construção civil, e devido a sua importância, especialmente em obras de grande porte, ainda mais pelo fato deste ramo ter se aprimorado no intuito de garantir mais segurança ao trabalho, eficiência, qualidade e rapidez, o emprego do aço na construção civil garantiu grandes avanços, que em conjunto com outros compostos possibilitou a construção de obras cada vez maiores, funcionais e bonitas. Essas características permitem que se utilize menos mão de obra para a montagem de estruturas de aço, especialmente quando se compara o investimento com a utilização de outros materiais.

Portanto, não é nenhuma novidade que o aço apresenta múltiplas qualidades e utilidades, mas e se esse material que já é tão funcional e cheio de qualidades pudesse ter seu potencial melhorado? É neste ponto que entra este estudo. Deste modo, esta pesquisa pretende analisar as características do Nióbio, elemento de número atômico 41, pertencente à classe dos metais de transição do grupo 5 da tabela periódica, que dentre suas muitas utilidades, e de que maneira este elemento químico pode contribuir para a potencialização do aço, deste modo, considerando as características do Nióbio, o presente estudo objetiva apresentar uma análise da adição de nióbio ao aço, como alternativa de redução drástica de material utilizado nas obras de grande porte.

## MATERIAL E MÉTODO

A área de estudo compreende as contribuições do Nióbio ao aço. O Nióbio é um elemento de número atômico 41, pertencente à classe dos metais de transição do grupo 5 da tabela periódica, que corrobora para a redução da corrosão intergranular dos aços inoxidáveis, pois ajuda a reduzir a quantidade de carbono no aço, ademais, na construção civil, tem-se os aços de alta resistência e baixa liga (HRBL) - microligados - são de uso comum em oleodutos e gasodutos, em estruturas prediais e em aços para ferramentas e autopeças que devem ser resistentes ao calor (HEISTERKAMP et al, 2001; DE ARDO, 2003; KOMMEL et al., 2013). Suas propriedades físico-químicas são muito semelhantes às propriedades do metal tântalo, de modo que os dois coexistem na natureza. Mundialmente, o elemento se destaca por suas propriedades físico-químicas, como: massa específica de 8,57 g/cm<sup>3</sup>, alto ponto de fusão de 2468 °C, alto ponto de ebulição de 4744 °C, supercondutor em temperaturas inferiores a -364 °C e excelente maleabilidade e ductilidade quando puro (NICO et al., 2016; PEREIRA JÚNIOR, 2009; YANG et al., 2014; YOON, 2010).

A alta resistência à corrosão do nióbio é destacada devido ao aparecimento de uma camada de óxido espessa, passiva e aderente ao redor de sua superfície. Ao se unir a esta camada, aparece a presença de vários estados de oxidação (de -1 a +5), sendo +5 nox seu estado mais comum. À temperatura ambiente o nióbio é estável, pois não reage com água, ar ou ácidos – exceto ácido fluorídrico e sua mistura com ácido nítrico. Por outro lado, em altas temperaturas, o nióbio reage com a maioria dos não metais, gerando produtos que não possuem estequiometria e elementos intersticiais, sendo também resistente ao ataque por bases fundidas (GRILL, 2007).

Em relação às suas propriedades físico-químicas, Souza (2015) apresentou os valores de 4,95 g/cm<sup>3</sup> de massa específica e 1495 °C de ponto de fusão. Segundo Azevedo (2010) e Bolzon (2007), o material é de cor branca e ocorre naturalmente no estado sólido. Além disso, é um composto anfótero, ou seja, comporta-se como uma base em meio ácido e vice-versa. De fato,  $Nb_2O_5$  atua em diversos processos químicos por possuir atividades catalíticas (HUIMING-GU et al., 2005; BRAGA, 2007; CARVALHO, 2009; ORLOV e SUKHORUKOV, 2010; ORLOV et al., 2015).

Neste trabalho, a base principal de dados utilizada são o Google Acadêmico, Scielo, Banco de Teses da Capes e a Biblioteca Digital de Periódicos Processus, onde serão selecionados artigos científicos, com as seguintes palavras-chaves: Aço; Construção Civil, Nióbio; Cidades Inteligentes; Meio Ambiente. Em alguns momentos os descritores são cruzados no intuito de otimizar a pesquisa.

As pesquisas exploratórias mais comuns são os levantamentos bibliográficos, porém, em algum momento, a maioria das pesquisas científicas passam por uma etapa exploratória, visto que o pesquisador busca familiarizar-se com o fenômeno que pretende estudar (GIL, 2017).

Inicialmente, o nióbio era obtido apenas como subproduto da columbitantalita e, por ser um mineral escasso, possuía alto valor de mercado. Portanto, seu uso ficou restrito a algumas superligas e um tipo de aço inoxidável. Segundo a história, no ano de 1925, o nióbio foi usado para substituir o tungstênio na produção de ferramentas de aço. Então, em 1930, o metal foi aplicado em aços inoxidáveis para evitar processos corrosivos (AZEVEDO, 2010). No entanto, foi somente em 1950 que as jazidas de minério foram descobertas no Brasil e no Canadá, aumentando sua oferta e, conseqüentemente, seu desenvolvimento tecnológico. Portanto, após anos de estudos e análises, foi somente em 1975 que o nióbio foi comercializado pela CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração) como liga ferro-nióbio (CBMM, 2017). Desde então, o uso desse metal tem sido aplicado abundantemente na engenharia moderna, justificado por sua vantagem econômica, versatilidade e disponibilidade de fornecimento a longo prazo (ALVES, 2015).

A alta resistência à corrosão do nióbio é destacada pelo aparecimento de uma camada de óxido espessa, passiva e aderente ao redor de sua superfície. Ao unir esta camada, aparece a presença de vários estados de oxidação (de -1 a +5), sendo +5 nox seu estado mais comum. A temperatura ambiente, o nióbio é estável, pois não reage com água, ar ou ácidos – exceto ácido fluorídrico e sua mistura com ácido nítrico. Por outro lado, em altas temperaturas, o nióbio reage com a maioria dos não metais, gerando produtos que não possuem estequiometria e elementos intersticiais, sendo também resistente ao ataque por bases fundidas (GRILL, 2007). O óxido de nióbio ( $Nb_2O_5$ ), extraído do minério de pirocloro, é a matéria-prima para a fabricação do nióbio puro, pois é sua forma mais estável e pode ser produzido em alto grau de pureza. Também é utilizado para a produção de outros compostos, como: carbetos de nióbio, niobato de lítio e cloreto de nióbio (LIMA, 2010).

Em relação às suas propriedades físico-químicas, Souza (2015) apresentou os valores de 4,95 g/cm<sup>3</sup> de massa específica e 1495 °C de ponto de fusão. Segundo Azevedo (2010) e Bolzon (2007), o material é branco e ocorre naturalmente no estado sólido. Além disso, é um composto anfótero, ou seja, se comporta como uma base em meio ácido e vice-versa. De fato, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> atua em diversos processos químicos por possuir atividades catalíticas (HUIMING-GU et al., 2005; BRAGA, 2007; CARVALHO, 2009; ORLOV e SUKHORUKOV, 2010; ORLOV et al., 2015).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados obtidos, percebe-se que nos últimos anos, o nióbio tem despertado interesse de pesquisadores e do governo devido às suas propriedades interessantes quando utilizado em ligas metálicas, como alta resistência mecânica e maleabilidade. O nióbio também é utilizado na fabricação de vidros especiais, como lentes, filmes de revestimento e capacitores cerâmicos. Quando utilizado como material anódico em baterias de íon-lítio, esse metal (na forma de óxidos) proporciona alta capacidade volumétrica além de ser aplicado como supercapacitores híbridos. Em aplicação em catálise, área importante para a indústria química e petrolífera nacional, os catalisadores à base de nióbio geralmente apresentam boa estabilidade química, acidez e versatilidade, desempenhando um papel importante nas reações catalíticas oxidativas. Ainda há muito a descobrir sobre esse elemento estratégico. Como o Brasil é a maior reserva operacional do mundo, surge um leque de oportunidades, com possibilidade de geração de emprego e renda. Este breve trabalho de revisão procurou atentar para os estudos que o nióbio vem destacando, do ponto de vista tecnológico e de desenvolvimento em nosso país. Eventuais investimentos em infraestrutura como redes ferroviárias, pontes, portos e a fabricação de carros híbridos, elétricos e à base de nióbio podem ser estratégicos para a geração de riqueza (COOMARASWAMY; LUMLEY; HOFMANN, 2007).

A alta resistência à corrosão do nióbio é destacada devido ao aparecimento de uma camada de óxido espessa, passiva e aderente ao redor de sua superfície. Ao se unir a esta camada, aparece a presença de vários estados de oxidação (de -1 a +5), sendo +5 nox seu estado mais comum. À temperatura ambiente o nióbio é estável, pois não reage com água, ar ou ácidos – exceto ácido fluorídrico e sua mistura com ácido nítrico. Por outro lado, em altas temperaturas, o nióbio reage com a maioria dos não metais, gerando produtos que não possuem estequiometria e elementos intersticiais, sendo também resistente ao ataque por bases fundidas (GRILL, 2007). O óxido de nióbio (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), extraído do minério de pirocloro, é a matéria-prima para a fabricação do nióbio puro, pois é sua forma mais estável, podendo ser produzido em alto grau de pureza. Também é utilizado para a produção de outros compostos, como: carbeto de nióbio, niobato de lítio e cloreto de nióbio (LESSA, 2011).

Pode haver várias aplicações do óxido de nióbio, o que o torna um material muito versátil. Atualmente, possui grande potencial de aplicação tecnológica, como óxidos condutores, dispositivos fotocrômicos, capacitores eletrolíticos, células solares sensibilizadas por corante, entre outros (NICO et al., 2016). Além disso, o óxido de nióbio atua com suas propriedades catalíticas em diversos processos químicos (HUIMING-GU et al., 2005; BRAGA, 2007; CARVALHO, 2009; ORLOV e SUKHORUKOV, 2010; ORLOV et al., 2015).

A adição de teores mínimos de ferronióbio, da ordem de 0,05%, torna o aço mecanicamente mais resistente, sem diminuir sua tenacidade, que é a capacidade de se deformar plasticamente sem quebrar. Conhecidos como microligados, esses aços são utilizados na fabricação de dutos para óleo e gás, automóveis, navios, pontes e viadutos. Apenas 8% do aço produzido no mundo possui nióbio em sua composição, o que aponta para uma ampla margem de crescimento do mercado (WANDERLIND, 2018).

Por ser mais resistente, a chapa de aço com ferronióbio pode ser mais fina que o aço convencional. Na indústria automotiva, as carrocerias são mais leves sem perder força. Reduzir o peso melhora a eficiência dos veículos a combustão e elétricos. Em oleodutos e gasodutos, aplicação mais tradicional, o nióbio evita a propagação de trincas e, ao mesmo tempo, permite a construção de estruturas mais finas. A espessura das paredes pode ser reduzida para 20 milímetros (mm), metade do tamanho de tubos feitos sem ferronióbio. (LEE, 2008).

O alto nível de competição na indústria brasileira incentivou a busca pelo aprimoramento dos produtos oferecidos juntamente com a redução dos custos de produção. Baratear o processo pode passar por uma nova tecnologia de produção, principalmente aquela relacionada à composição da liga metálica. Uma equipe da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) realizou uma pesquisa

para avaliar os efeitos da adição de nióbio como elemento de liga para substituir o molibdênio em ferro dúctil austemperado (ADI) com o intuito de melhorar propriedades como resistência ao desgaste, impacto e tração, além de reduzir os gastos com a aquisição desse elemento (BYUN, 2001).

O ADI é um importante material de engenharia devido às suas propriedades mecânicas, como boa ductilidade (capacidade de deformar sem quebrar) e alta resistência mecânica e ao desgaste, alta resistência à fadiga e tenacidade à fratura – quanto maior a tenacidade, maior a capacidade. que o material absorva energia sem interrupção. “Por suas propriedades mecânicas, o ADI está sendo utilizado em componentes estruturais, automotivos, ferroviários, de mineração e de equipamentos de construção”, explica o orientador de trabalho e professor da PUC, Pedro Paiva Brito (AZEVEDO, 2006).

O ferro fundido tornou-se um metal popular, amplamente aplicado na produção industrial graças ao seu baixo custo (20 a 40% menos que o aço) e sua ampla gama de propriedades mecânicas desejáveis, como boa fundição, propriedade de usinagem conveniente e melhor resistência. Para melhorar as propriedades mecânicas dos ferros fundidos nodulares, é utilizada a técnica de adição de elementos de liga. No entanto, essa técnica pode sobrecarregar o processo devido aos altos valores desses elementos, como manganês, cromo, boro, molibdênio, entre outros (AHMAD; KASHIF; AHMAD, 2020).

Em testes realizados na PUC Minas, as ligas foram austemperadas nas temperaturas de 270°C, 290°C, 320°C, 350°C e 400°C por tempos de um, três, cinco, sete, 10, 15, 30 e 60 minutos. As amostras foram submetidas a ensaios de dureza para determinação das curvas de transformação isotérmica. Amostras austemperadas a 320°C por diversas vezes foram submetidas ao exame de difração de raios X (feito com microscópio eletrônico. Consiste em emitir partículas contra o material, que as refletirá de volta em diferentes ângulos. A partir do ângulo o aparelho é capaz de definir a quantidade de um determinado elemento no material (ALBUQUERQUE; ANDRADE NETO; AMORIN JR; RIBEIRO, 2019).

Neste caso, a quantidade de nióbio) para acompanhar a evolução da fração das fases durante o tratamento de austêmpera. A caracterização da microestrutura e propriedades mecânicas das amostras austemperadas a 320°C foi realizada pela aplicação de microscopia óptica convencional, ensaios de tração, impacto e pino sobre disco. “Assim, foi possível concluir que “em termos de propriedades mecânicas, a adição de molibdênio causou uma queda na resistência à tração do material austemperado de aproximadamente 1.250 megapascals (MPa) para 1.000 MPa na liga com nióbio. Por outro lado, houve melhora no alongamento máximo, passando de 12% para 14% com a nova mistura. “Esse alongamento é medido no teste de tração, onde esticamos as duas ligas para medir até que ponto elas resistem antes de quebrar. Quanto mais você alongar, melhor.” (ALI; RIAHI, 2010).

Outro teste, o Charpy's (no qual um corpo de prova possui um entalhe central e é apoiado nas duas extremidades. É feito um impacto no centro do corpo que avalia a tenacidade, ou seja, a quantidade de energia que o material pode reter na fratura) , revelou a semelhança entre as ligas na absorção de energia, com uma faixa de crescimento de tenacidade próximas umas das outras à medida que a temperatura aumenta. “A substituição nas composições químicas avaliadas é possível, com vantagem para as propriedades mecânicas das ligas de nióbio”, completa (ALVIM; MARANHÃO; BATISTA; REALES; SOUZA JUNIOR; TOLEDO FILHO, 2020).

Outro aspecto importante é o custo-benefício. O preço médio da liga ferronióbio em 2008 foi de aproximadamente US\$ 33 mil por tonelada. A liga com molibdênio ultrapassou a barreira dos US\$ 73 mil por tonelada. De acordo com a disponibilidade de nióbio no Brasil e a necessidade de importação de molibdênio, a possibilidade de utilização do nióbio torna-se cada vez mais interessante considerando seu custo-benefício (DEBBARMA; RANSINCHUNG; DHAKA, 2020).

Como grande exemplo dos benefícios do nióbio na construção civil, temos o prédio do Instituto Moreira Salles (IMS), localizado na Avenida Paulista, bem no centro de São Paulo, inaugurado em 2017, que teve como maior desafio, pois foi uma obra de grande envergadura, a ser realizada em uma região congestionada, entre dois prédios muito altos, e com o metrô passando bem próximo. Mas o desafio não parou por aí, a obra deveria poder receber milhares de pessoas e abrir obras artísticas de todos os tamanhos, o que exigiria pé direito alto e largo, vãos livres e imensos vãos (ALBUQUERQUE; ANDRADE NETO; AMORIN JR; RIBEIRO , 2019).

O aço convencional tem resistência de 250 Mpa (Mega Pascal), unidade amplamente adotada na construção civil. Graças ao nióbio, o aço utilizado no Instituto Moreira Sales atingiu 420 Mpa – 68% mais resistente. No total, a estrutura do IMS utilizou 556 toneladas de aço microligado ao nióbio (ALBUQUERQUE; ANDRADE NETO; AMORIN JR; RIBEIRO, 2019).

A adição de 0,01% de nióbio no aço é suficiente para tornar as estruturas das edificações mais resistentes, ou seja, para cada 100 toneladas de aço utilizadas na obra, são necessários apenas 10 quilos de nióbio, proporcionando profundas mudanças na qualidade do projeto. . Nesse sentido, estudos recentes indicam que o nióbio é um dos responsáveis pela chamada desmaterialização da construção civil. Um conceito que consiste em reduzir drasticamente a quantidade de material utilizado na obra, contribuindo para a sustentabilidade em toda a cadeia produtiva, pois com menos materiais, menos matérias-primas como minério e carvão são consumidas, menos insumos são transportados, a construção é mais rápida e menos energia é gasta, garantindo boas práticas ambientais (DEBBARMA; RANSINCHUNG; DHAKA, 2020).

## CONCLUSÃO

Por meio do estudo apresentado foi possível averiguar que o Brasil possui uma gigantesca concentração de Nióbio e que este elemento químico pode ser uma importante alternativa para otimizar o uso do aço na construção civil em estruturas de grande porte. Deste modo, a possibilidade de utilização do nióbio torna-se cada vez mais interessante na construção civil, considerando seu custo-benefício.

O Nióbio proporciona resistência e tenacidade às construções, pois enquanto o aço convencional tem resistência de 250 Mpa (Mega Pascal), unidade amplamente adotada na construção civil, o aço enriquecido com nióbio pode ter resistência de 420 Mpa – 68% mais resistente. Destarte, com a adição de apenas 0,01% de nióbio no aço é suficiente para tornar as estruturas das edificações mais resistentes, ou seja, para cada 100 toneladas de aço utilizadas na obra, são necessários apenas 10 quilos de nióbio, proporcionando profundas mudanças na qualidade do projeto.

## REFERÊNCIAS

- Ahmad, i.; kashif, a. k.; ahmad, t. influence of chloroprene rubber latex on set times and early hydration of cement. *arabian journal for science and engineering*, 2020.
- Albuquerque, d. d. m.; andrade neto, j. s.; amorim jr, n. s.; ribeiro, d. v. propriedades das argamassas de revestimento contendo resíduo proveniente da produção do tio<sub>2</sub> (mnr). *cerâmica vol. 65*, 2019.
- Ali, n.; riahi, s. the effects of cr<sub>2</sub>o<sub>3</sub> nanoparticles on strength assessments and water permeability of concrete in different curing media. *materials science and engineering*. 2010.
- Alves, a. r.; coutinho, a. r.; *mater res* 2015, 18, 106.
- Alvim, t. m. m.; maranhão, f. s.; batista, j. h. g.; reales, o .m.; souza junior, f. g.; toledo filho, r. d. effect of inductive heating on the properties of a cement slurry blended with magnetic iron oxide nanoparticles. *rio oil & gas expo and conference, rio de janeiro*, 2020.
- Azevedo, a. f. f. l. c. betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes. dissertação (doutorado em engenharia civil) – universidade do minho, braga, 2002.
- aggarwal, g.; park s. j.; smid i. development of niobium powder injection molding. part i: feedstock and injection molding. *international journal of refractory metals and hard materials*, 2006.
- Byun, j. et al., “inoculated acicular ferrite microstructure and mechanical properties”. *materials science and engineering* a319-321. 2001.
- Coomaraswamy, k. s.; lumley, p. j.; hofmann, m. p. effect of bismuth oxide radioopacifier content on the material properties of an endodontic portland cement based (mta-like) system, *j. endod*, 2007.
- Debbarma, s.; ransinchung, g. d.; dhaka, m. effects of portland cement additive rich in sio<sub>2</sub> and al<sub>2</sub>o<sub>3</sub> in microstructure densification of rap incorporated rccp mixes. *construction and building materials*, 2020.
- Luiming-gu; shih, w. y.; shih, w. low-temperature, single step, reactive sintering of lead magnesium niobate using mg(OH)<sub>2</sub> - coated Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> powders. *journal of the american ceramic society*, 2005.
- Lee, j. d. química inorgânica não tão concisa. tradução da 5ª ed. inglesa. editora edgard blücher ltda. 2008.
- Lessa, c. l. r., “soldagem fhpp – processo e metalurgia nas transformações de fase”. trabalho de mestrado. universidade federal do rio grande do sul, porto alegre, 2011.
- Wanderlind, a., “efeitos dos parâmetros de soldagem gmaw com curva controlada na união dos aços dissimilares astm a572 grau 50 e astm a36”. trabalho de mestrado. universidade do extremo sul catarinense, criciúma, 2018.