
ANÁLISE DE MERCADO DO NÍQUEL E AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DO NÍQUEL PARA O PROCESSO DE TRANSIÇÃO DOS VEÍCULOS A COMBUSTÃO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

NICKEL MARKET ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE IMPORTANCE OF NICKEL FOR THE TRANSITION PROCESS FROM COMBUSTION VEHICLES TO ELECTRIC VEHICLES

Paltron Neto Maciel Borges¹, Reynathan Cleyber Martins Souza², Ivandro José de Freitas Rocha³, Alessandro Martins Morais⁴, Lauriane Gomes Santin⁵

¹ Discente Engenharia Mecânica/FACEG: paltrongeneto@gmail.com

² Discente Engenharia Mecânica /FACEG: reynathan1900@outlook.com

³ Professor do curso de Engenharia Mecânica/FACEG: ivandro.rocha@evangelicagoianesia.edu.br

⁴ Professor do curso de Engenharia Mecânica/FACEG: alessandro.martins@docente.evangelicagoianesia.edu.br

⁵ Professora do curso de Engenharia Mecânica/FACEG: lauriane_santin@hotmail.com

Resumo: A demanda de níquel nos setores de produção industrial vem aumentando sistematicamente nos últimos anos, impulsionada por demandas de energia limpa, que, por sua vez, são norteadas pelo processo de transição da matriz energética global, estimulado, principalmente, pelas questões ambientais que assolam o planeta. Como exemplo, pode-se citar o aquecimento global gerado, em parte, pela emissão de gases do efeito estufa, que é uma das questões mais debatidas e mais estudadas na contemporaneidade, onde se buscam soluções rápidas e eficazes. Nesse contexto, um dos setores que mais contribui com a emissão de gases do efeito estufa é o transporte, mais especificamente os veículos à combustão por gasolina, por diesel e por álcool. Dados indicam que o futuro desse processo de transição, bem como de outros setores da indústria, pode se tornar incerto em função da demanda versus a oferta de níquel no mercado futuro com alguns países, como a China, listando-o como mineral crítico em função de suas reservas e de suas explorações. Através de uma análise bibliográfica descritiva criteriosa, foi realizado o embasamento para avaliar as dinâmicas de mercado desse mineral.

Palavras-chaves: Baterias. Veículos Elétricos. Transição da Matriz Energética.

Abstract: The demand for nickel in the industrial production sectors has been increasing systematically in recent years, driven by demands for clean energy, which, in turn, are guided by the transition process in the global energy matrix, stimulated, mainly, by the environmental issues that plague the planet. As an example, we can mention global warming generated, in part, by the emission of greenhouse gases, which is one of the most debated and studied issues in contemporary times, where quick and effective solutions are sought. In this context, one of the sectors that most contributes to the emission of greenhouse gasses is transport, more specifically vehicles that burn gasoline, diesel and alcohol. Data indicates that the future of this transition process, as well as other sectors of the industry, may become uncertain due to demand versus supply of nickel in the futures market with some countries, such as China, listing it as a critical mineral due to its reserves and explorations. Through a careful descriptive bibliographic analysis, the basis was provided to evaluate the market dynamics of this mineral.

Keywords: Batteries. Electric Vehicles. Transition of the Energy Matrix.

INTRODUÇÃO

A transição da matriz energética mundial é um tema amplamente debatido, estudado e desenvolvido, nas últimas décadas, por especialistas e por nações de todo mundo. Essas ações são impulsionadas por mudanças climáticas que foram aceleradas nas últimas décadas, geradas, em grande parte, pela emissão de gases de efeito estufa. O grande marco para iniciativas de redução nos números de emissão foi o acordo de Paris, um tratado internacional, juridicamente vinculativo, que entrou em vigor em 4 de novembro de 2016, onde 194 partes (193 Estados mais a União Europeia) aderiram ao referido acordo. Ele fornece o direcionamento para uma estrutura durável, que deve orientar o esforço global nas próximas décadas, para a redução dos números de gases de efeito estufa emitidos, o que se apresenta como um dos maiores desafios que a humanidade já enfrentou (ONU, 2022).

Em todo o mundo, o setor de transporte é responsável por quase um quarto das emissões globais de

gases de efeito estufa. Especificamente, as emissões dos veículos à combustão, à gasolina, a diesel e a álcool são uma fonte significativa de partículas finas e óxidos de nitrogênio, que são as principais causas da poluição do ar urbano. Com o intuito de minimizar os efeitos danosos do aumento dos gases poluentes na atmosfera, as Nações Unidas solicitaram a eliminação gradual da produção de veículos com motor de combustão interna até 2035 para os principais países fabricantes e até 2040 para os países em desenvolvimento (ONU, 2021).

O processo de transição da matriz energética nos transportes está em curso, lançando mão de várias tecnologias, onde os veículos elétricos ocupam posição de destaque. A expectativa é que o estoque global de veículos elétricos aumentará de cerca de 7,2 milhões em 2019, para 245 milhões em 2030; um aumento de mais de 30 vezes (HEIJLEN, et. al., 2021). Esse será um processo desafiador em termos tecnológicos e de disponibilidade de matéria-prima que atenda às demandas de produção projetadas.

Elementos minerais, como o níquel, primordial para a produção de baterias elétricas, estabelecem-se em posição de destaque no processo de eletrificação da frota de veículos do planeta e, em função disso, tornam-se ainda mais cobiçados pelo mercado. Existem estudos que indicam que, mesmo diante da abertura de novas explorações de níquel já planejadas, a produção mundial não será capaz de atender à demanda deste mineral até o ano de 2035 (HEIJLEN, et al., 2021).

Sobre o níquel, registros de sua aplicação foram observados em moedas japonesas datadas de 800 anos a.C.; também em moedas gregas de 300 anos a.C. (SILVA, 2017). Já no Brasil, os primeiros registros datam de 1889, no estado de São de Paulo, seguidos de abundantes descobertas identificadas nos estados de Minas Gerais e de Goiás, respectivamente nos anos de 1906 a 1934, merecendo destaque o estado de Goiás em números de reservas (OLIVEIRA, 1990).

REFERENCIAL TEÓRICO

O níquel (número atômico 28) é encontrado na crosta continental superior da terra, em uma concentração média aproximada de 44 partes por milhão. O níquel é usado, principalmente, em aço inoxidável, podendo também ser utilizado em ligas (por sua resistência à corrosão), bem como para: cunhagem, revestimento, produtos químicos e baterias (TRACY, 2022).

As pesquisas de desenvolvimento de baterias à base de níquel já percorrem mais de 120 anos na história. A busca visa o desenvolvimento de baterias com melhor desempenho, desde a capacidade de armazenamento, à redução de impactos ambientais. Sendo um dos cátodos mais promissores, os materiais à base de níquel têm atraído crescentes interesses de pesquisa devido à alta densidade de sua energia, excelente densidade de potência, de segurança e seu baixo custo, além da benignidade ambiental (LIU, et al., 2020).

Os primeiros registros da utilização de níquel em baterias aplicadas à veículos elétricos, em escala industrial, ocorreram em 1901, quando Thomas Edison criou baterias de níquel-ferro, onde estas apresentaram capacidade de

armazenamento 40% maior do que as baterias de chumbo, mas com custos de produção mais elevados. No entanto, sua utilização foi desacelerada pela concorrência de tecnologias de veículos a vapor e à combustão, fontes mais abundantes e mais baratas na época (MARTINS, et al., 2021).

Atualmente o uso de níquel em produtos intermediários, o chamado primeiro uso, corresponde a 69% em aços inoxidáveis, 11% em baterias, 7% em ligas não ferrosas, 6% em chapeamento, 3% em aços de liga, 2% em fundição e 1% em outras aplicações. Já sua aplicação final corresponde a 33% na engenharia, 23% em produtos de metal, 16% no transporte, 14% na construção civil, 9% em eletrônicos e 5% em outras aplicações (USO, 2021).

Nos últimos anos o aumento do percentual de níquel em baterias para aplicação em veículos elétricos cresceu exponencialmente. Projeta-se que a prevalência de níquel em baterias salte de pouco menos de 4%, em 2016, para 11%, em 2022, com uma taxa média de crescimento anual de mais de 20% (WANG, et al., 2022).

O Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS), da Agência Internacional de Energia (AIE), projetado para ser compatível com as metas climáticas do Acordo de Paris, espera que o estoque global de Veículos Elétricos (VE) aumento de cerca de 7,2 milhões, em 2019, para 245 milhões em 2030, um aumento de mais de 30 vezes (HEIJLEN, et al., 2021), conforme inicialmente pontuado.

O níquel é um componente de aplicação direta em baterias elétricas, principalmente naquelas utilizadas junto aos veículos elétricos, mas também possui várias outras aplicações práticas, incluindo construção, petroquímica, automóveis, fabricação e soldagem, transporte, eletrônica, setor de água, bem como em tecnologias de baixo carbono, tendo a sua demanda aumentado nas últimas décadas, chegando em 3,1% a taxa de crescimento anual da sua produção, além de se esperar que aumente, ainda é significativamente mais, no futuro (GUOHUA; ELSHKAKIB; XIAOUMA, 2021).

Sendo as matérias-primas essenciais de grande importância para a economia da União Europeia, dois

parâmetros principais são usados para determinar a criticidade de um material por eles: importância econômica e risco de fornecimento. Com base nas matérias-primas que atingem, ou excedem, os limites de ambos os parâmetros (BLUMBERGS, et al., 2021).

O níquel está entre os metais que podem se tornar críticos para algumas aplicações no futuro, incluindo veículos elétricos, especialmente para países com poucos, ou insuficientes, recursos, incluindo a China, onde o níquel foi identificado como um metal crítico devido à sua disponibilidade limitada e à importância para vários setores, inclusive o setor de energia e de transporte (GUOHUA; ELSHKAKIB; XIAOUMA, 2021).

Os Estados Unidos dependem fortemente das importações de níquel para uso em baterias de veículos elétricos e para outras aplicações, uma vez que, atualmente, extraem apenas algum níquel por conta própria. Várias empresas têm indicado planos para expandir a obtenção desse mineral, tendo a reciclagem de produtos que contêm esses minerais contribuído para parte da produção doméstica, o que representa contribuições potenciais para o abastecimento interno (TRACY, 2022).

Além de sua aplicação direta, o níquel fornece submatérias, tão importantes quanto, para os processos ligados à transição da matriz energética, a exemplo do cobalto. Assim como o níquel, aquele poderá ter sua cadeia de fornecimento impactada nesta crescente demanda, impactos que acarretarão variações de preços, bem como de oferta de mercado, o que também irá elevar, proporcionalmente, o valor de mercado dos veículos elétricos em função da cadeia de fornecimento e de fabricação dessas *commodities* (MARTINS, et al., 2021).

Os preços de muitos minerais e metais essenciais para as tecnologias de energia limpa dispararam recentemente devido à combinação de demanda crescente, cadeias de suprimentos interrompidas e a preocupações com o aperto no fornecimento. Os preços do lítio e do cobalto mais que dobraram em 2021, e os do cobre, do níquel e do alumínio subiram cerca de 25% a 40%. As tendências de preços continuarão em 2022. O preço do lítio

aumentou surpreendentemente duas vezes e meia desde o início do ano de 2021. Os preços do níquel e do alumínio, dos quais a Rússia é um importante fornecedor, também continuaram subindo, impulsionados, em parte, pela invasão da Ucrânia pela Rússia (KIM, 2022).

A alta demanda de baterias estimulou aumentos significativos na demanda por metais-chave, usados em sua produção. Entre o início de 2021 e maio de 2022, os preços do lítio aumentaram mais de sete vezes e os preços do cobalto mais que dobraram. Os preços do níquel quase dobraram no mesmo período, atingindo níveis não vistos em quase uma década. Os aumentos, sem precedentes, no preço do metal das baterias, foram causados por uma combinação de aumento da demanda por baterias, aumento da pressão nas cadeias de suprimentos e preocupações com o aperto no fornecimento. As restrições de oferta foram impulsionadas por três tendências: a primeira concernente aos desafios de produção causados pela pandemia; a segunda decorrente de preocupações com o fornecimento de níquel, Classe 1, da Rússia; e a terceira referente ao subinvestimento estrutural em nova capacidade de fornecimento durante os três anos anteriores a 2021, quando os preços dos metais estavam baixos (KIM, 2022).

Além do aumento do consumo, nem todo níquel extraído é adequado para a produção de baterias de íons de lítio, pois as baterias exigem a forma mais rara de depósitos do metal, conhecidos como sulfetos de níquel. O níquel é usado em vários tipos de bateria, incluindo Níquel-cádmio, Níquel-metal-hidreto, Níquel-ferro, Níquel-zinco e Níquel-hidrogênio. Porém, sua principal utilização continua sendo nas baterias de íons de lítio (GROUP, 2021).

As reservas mundiais de níquel são estimadas em 94 milhões de toneladas de conteúdo metálico de níquel, que é rico em recursos. A distribuição regional das reservas globais de níquel é relativamente concentrada. Os três principais países, Indonésia, Austrália e Brasil, juntos, respondem por cerca de 60% das reservas globais de níquel. Os recursos terrestres disponíveis para a preparação de níquel incluem, principalmente, minério de sulfeto de

níquel e minério de óxido de níquel, e acredita-se que a relação óxido de sulfeto, nas reservas atuais de níquel, seja de cerca de 4:6 (ZHAO; GAO; YANG, 2022).

Acordos de exclusividade de fornecimento de níquel estão sendo fechados em larga escala pelas maiores mineradoras do mercado. Uma afirmação dessa crescente demanda, consoante estabelecem os estudos citados, é o caso recente da mineradora Vale, que fechou um acordo com a GM, fabricante de veículos elétricos, para fornecimento de sulfeto de níquel, de 25.000 (vinte e cinco mil) toneladas, para uso nos cátodos das baterias de lítio da GM, estando a primeira entrega prevista para o segundo semestre de 2026. Tal volume fornecido será suficiente para produção de 350.000 veículos por ano e vai atender à crescente demanda de veículos elétricos da América do Norte (VALE, 2022).

No Brasil, a exploração de níquel sulfetado é limitada. Atualmente há uma operação, situada na cidade de Itagibá na Bahia, da empresa Atlantic Nickel, grupo britânico com operações na África, na América do Sul e na América do Norte, sendo a sua produção totalmente exportada. A empresa projeta aplicar sua produção nesse mercado crescente. Com o novo Plano de Aproveitamento Econômico (PAE), recém-divulgado pela empresa, a previsão da Atlantic Nickel é dobrar a sua capacidade produtiva com o início da operação subterrânea, prevista para 2028, o que vai elevar o tempo de vida útil da mina de 8 para 34 anos. Cerca de US\$355 milhões devem ser investidos nos primeiros cinco anos dessa nova fase. O níquel sulfetado, produzido na Atlantic Nickel, após passar por um processo de refino, é o principal componente na fabricação de baterias que equipam o crescente mercado de veículos elétricos (NICKEL, 2020).

Os atuais níveis de estoque são afetados, em parte, pela pandemia do COVID-19, que causou uma desaceleração da demanda nos mercados tradicionais (aço inoxidável) e um atraso na expansão dos mercados de Veículos Elétricos (VE's) na medida em que os países foram lidando com a pandemia. Os fundamentos do mercado de longo prazo continuam apontando para déficits

de oferta, enquanto os países continuam a implementar suas estratégias de implementação dos VE, já que representam um componente significativo no que pertine à mudanças climáticas (NÍQUEL, 2021).

A demanda do níquel para baterias está, atualmente, em torno de 5%, podendo atingir 30% até 2040, de acordo com Wood Mackenzie, empresa global de pesquisa e de consultoria para a indústria de recursos naturais. O mercado de aço inoxidável usa níquel de Classe 1 (alta pureza) e de Classe 2 (baixa pureza). Historicamente, apenas a Classe 1 é adequada para produtos químicos de grau de bateria. A rapidez com que surgirá um déficit potencial no fornecimento de níquel da Classe 1 dependerá de vários fatores, incluindo a velocidade de adoção de veículos elétricos, a escolha da tecnologia da bateria, a disposição das empresas de mineração de reiniciar os projetos de produção da Classe 1 (níquel sulfetado), o potencial de avanços tecnológicos no refino competitivo do níquel Classe 2 e o potencial de aumento da reciclagem de níquel Classe 1 (HEIDER, 2022).

Números que refutam a criticidade nos estudos do tema de oferta e de demanda de níquel são os divulgados nas recentes análises de mercado para fabricação de baterias de íon-lítio diante dos projetos, em fase de planejamento e de execução. Os materiais do cátodo, que são essenciais para as baterias de íon-lítio e incluem lítio, níquel, cobalto e manganês, representavam menos de 5% dos custos das baterias em meados da última década, quando existiam apenas algumas giga-fábricas de baterias. Essa participação aumentou, para mais de 20%, hoje, quando cerca de 300 giga-fábricas estão em diferentes estágios de planejamento e de construção em todo o mundo (KIM, 2022).

METODOLOGIA

Enquanto percurso metodológico, fora realizado um estudo bibliográfico e descritivo sobre as dinâmicas de mercado, construído através da análise de artigos internacionais, bem como de livros, de revistas, de dados de institutos especializados do segmento mineral para o embasamento teórico sobre as dinâmicas de mercado do

níquel e sobre as projeções de crescimento do mercado de veículos elétricos, além de uma pesquisa de campo para compreensão do processo exploratório do mineral.

A análise de mercado foi realizada através da avaliação de dados de produção, projeções de produção, comportamento de mercado e estudos científicos dos principais institutos especializados em minerais do mercado, especificamente institutos especializados em produção e comercialização de níquel. Foram também avaliados relatórios governamentais relacionados à produção e reservas minerais, os anuários de produção e resumos de commodities, por fim análises de dados das principais empresas produtoras de níquel do mercado.

A análise de campo foi realizada através de uma visita técnica à empresa Anglo American, uma das maiores produtoras de níquel do Brasil, cuja unidade encontra-se localizada no município de Barro Alto, em Goiás. A finalidade maior da visita foi entender como é feito o processo de extração e de beneficiamento do níquel, da mina, ao consumidor final.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

História do Níquel no Brasil

Conforme anteriormente já assinalado, convém reforçar que, no Brasil, os primeiros registros e ocorrências desse mineral datam de 1889, no estado de São de Paulo, referente ao distrito de Jacupiranga, seguidos de abundantes descobertas identificadas nos estados de Minas Gerais e Goiás, nos anos de 1906 a 1934, sendo explorado, ainda em pequena escala. Ressalta-se que, em Jacupiranga, durante a Segunda Guerra, o estado de Goiás se destacou em números de reservas de níquel (OLIVEIRA, 1990).

Quanto ao início da produção de níquel no Brasil, o estado de Minas Gerais foi precursor, realizando operações de pequeno e de médio porte, inicialmente nos municípios de Liberdade, Ipanema e Pratápolis. As primeiras citações relativas à produção de níquel no Brasil remontam a 1915, em Livramento (MG), atual Liberdade, pela Companhia de Níquel do Brasil, com produção praticamente paralisada atualmente (HEIDER, 2022).

Atualmente existem três empresas de grande porte com operações de extração de níquel no Brasil, a saber: Mineração Onça Puma, administrada pela Vale, no estado do Pará; as operações de Barro Alto e de Codemin, administradas pela Anglo American, ambas no estado de Goiás; e as operações desenvolvidas pela empresa Atlantic Nickel, no estado da Bahia (BRASIL, 2021).

Usos e Aplicações

No Brasil, a principal consumidora de níquel é a indústria de aço inoxidável, em função de sua resistência à corrosão, à oxidação e diante de sua durabilidade, onde a maior parte do aço inoxidável contém cerca de 8% a 10% de níquel (VILELA, 2002).

O uso do níquel é dividido em função de suas classes, pois a composição do níquel nem sempre é igual. A classificação, enquanto Classe I, corresponde àquele com 99% de pureza de níquel, podendo ser utilizado em produtos nobres, com tecnologia mais avançada, como nas baterias dos VE's, bem como em placas de energia solar, além de também ser possível a sua utilização na produção de ligas de aço inoxidável; já o tipo identificado como de Classe II será aquele com concentrações abaixo de 90% de níquel, utilizados em itens mais simples, como nas ligas de aço inoxidável também, dentro outras aplicações (NÍQUEL, 2021).

Nos países industrializados, o níquel tem aproximadamente 70% de utilização na siderurgia, sendo destinado à fabricação de aço inoxidável, que é absorvido pela engenharia em geral, e os 30% restantes, divididos em ligas não-ferrosas, galvanoplastia, ligas de aço, fundição, laminação e em outras aplicações, possuindo uma grande resistência à corrosão e à oxidação. Ou seja, vislumbra-se que o níquel é utilizado em, aproximadamente, 300 mil produtos (SILVA, 2021).

A respeito do assunto, a Figura 1 retrata a produção brasileira de aço inoxidável nos últimos 12 anos, apresentando dados estatísticos que consideram aços planos e não planos. Percebe-se que a grande maioria dos aços inoxidáveis possuem entre 8 e 10% de níquel,

podendo, em casos específicos, atingir o percentual de 30% (ABINOX, 2021).

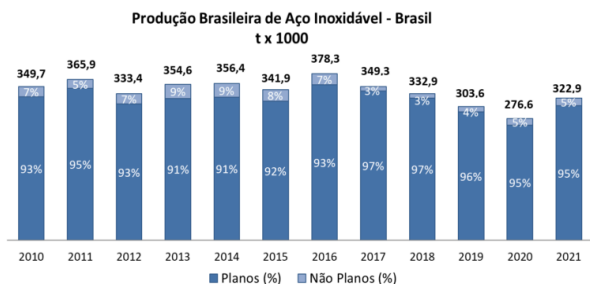


Figura 01 – Produção brasileira de aço inoxidável (ABINOX, 2021).

A Figura 2 apresentará o consumo aparente de aço inoxidável nos últimos 12 anos, no Brasil, levando em conta dados estatísticos referentes a aços planos e não planos, entre os anos de 2016 e 2020. Pode-se observar que ocorreu uma redução no volume de produção, alinhada com a desaceleração da indústria registrada nesse período, gerada pela crise global que impactou a todos consumidores de aço inox (ABINOX, 2021).

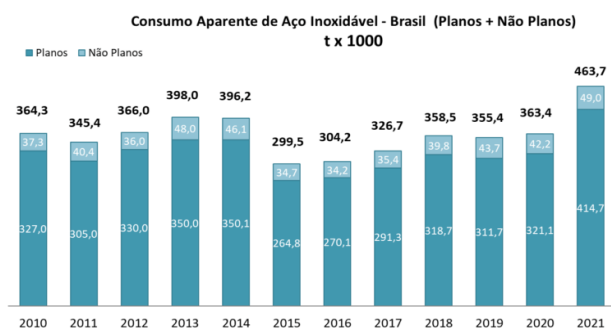


Figura 2 - Consumo aparente de aço inoxidável no Brasil (ABINOX, 2021).

Em suma, o consumo aparente de aço inoxidável, no Brasil, atingiu 463,7 mil toneladas em 2021, revelando um aumento de 21% em relação ao ano de 2020, tendo sido altamente impactado pela pandemia da Covid-19, que desacelerou todo o processo desenvolvido pela indústria (ABINOX, 2021).

Reservas e Produção

O níquel, de número atômico 28, é encontrado na crosta continental superior da terra, em uma concentração média aproximada de 44 partes por milhão, verifica-se que aquela apresenta reservas abundantes (TRACY, 2022). Tais reservas mundiais de níquel, conforme Figura 3, são concentradas nos seguintes países: Indonésia, Austrália e

Brasil, que, juntos, somam cerca de 60% das reservas globais de níquel (NICKEL, 2022). Os recursos disponíveis para a preparação de níquel incluem, em especial, minério de sulfeto de níquel e minério de óxido de níquel. Acresça-se a estimativa é de que a relação óxido de sulfeto nas reservas atuais de níquel seja de cerca de 4:6 (ZHAO, 2022).

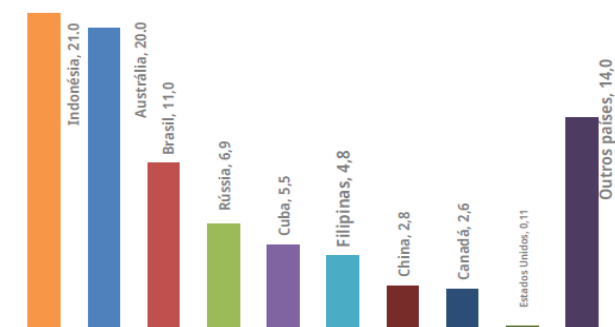


Figura 3 - Estimativa mundial das reservas de níquel em milhões de toneladas (Group, 2021).

O Brasil tem grande representatividade no cenário mundial quanto à reservas de níquel, com estimativas de que 12,4% das reservas mundiais atuais estão nele localizadas. Em volume, esse percentual corresponde a 11.000.000 de toneladas, o que o coloca como terceiro país com maior volume de reservas de níquel no mundo, podendo sofrer alterações, conforme novas pesquisas de explorações são validadas. Os volumes de recursos de níquel também são expressivos no Brasil, o que potencializa os indicadores de reservas após aprovações das pesquisas de prospecção, chegando em aproximadamente 17 milhões de toneladas (GROUP, 2021). Outro ponto que merece evidência diz respeito aos valores de mercado desses minérios. A Figura 4 apresenta valores estimados de recursos minerais de níquel sulfetado e de laterítico no Brasil (USO, 2021).



Figura 4 - Estimativa mundial de recursos de níquel em milhões de toneladas (Uso, 2021).

Em 2020, a produção brasileira de níquel contido na produção bruta foi de 117.051 toneladas; já a produção beneficiada do mineral foi de 77.133 toneladas. Se considerados os teores contidos e as variáveis de mercado, o volume comercializado, em 2020, foi 14.926 toneladas, sendo os estados de Goiás, do Pará e da Bahia responsáveis por uma produção bruta de 60.694, 53,940 e 2.418 toneladas respectivamente, justamente onde estão as empresas Vale (no estado do Pará), Anglo American (no estado de Goiás) e Atlantic Nickel (no estado da Bahia), representando 24,08%, 63,58% e 12,33% da produção total. Em relação ao ano de 2019, verifica-se que houve um crescimento de 47% na produção bruta, sendo esse impulsionado por uma maior participação da empresa Vale na produção em relação aos anos anteriores (BRASIL, 2021). Esse cenário coloca o Brasil entre os maiores produtores mundiais de Níquel, conforme visto na Figura 5.

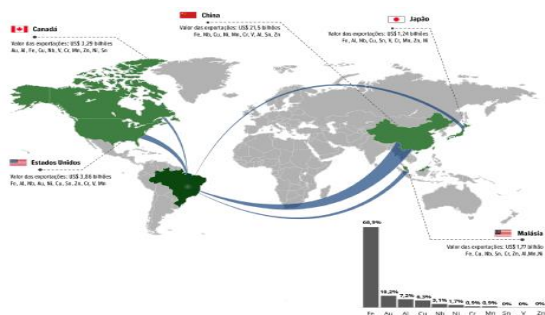


Figura 5 - Fluxo de exportação mineral brasileira em 2020 (Brasil, 2021)

Parte da produção de níquel produzida no Brasil é exportada para o mercado mundial, conforme pode ser visto na Figura 6, para uso na produção de aço inoxidável e de baterias elétricas. No ano de 2020, o valor agregado total de exportações minerais brasileiro foi de US\$47.885.414.255. Desse total, 1,7% são correspondentes às exportações de níquel, que têm, como destino, principalmente a Ásia e a América do Norte (BRASIL, 2021).

O Brasil ocupou, em 2020, a 8ª posição nos indicadores de produção mundial de níquel (Figura 5), apresentando uma lacuna entre seus números de reservas e de produção, mas sinaliza, em contrapartida, grande potencial produtivo, a depender de condições futuras de

mercado e de desenvolvimento de novas operações (GROUP, 2021).

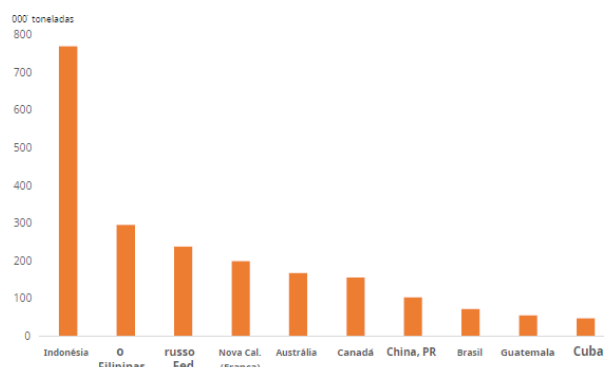


Figura 6 - Maiores produtores mundiais de níquel em 2020 (Group, 2021).

Preços

O níquel é comercializado na LME, que define o preço de mercado do níquel contido, utilizado, mundialmente, em contratos entre os fornecedores e os seus clientes, para fornecimento de produtos que apresentam o níquel em suas composições (CARVALHO, 2015).

Os preços nem sempre são voláteis, acompanhando, quase sempre, a relação oferta-demanda e as flutuações dos estoques, mas não é uma regra. Tiveram tendência de alta desde o início de 2017, alcançando um aumento de cerca de 60% até o final de 2020 (NÍQUEL, 2021).

Em março de 2022, o preço do níquel atingiu níveis recordes e experimentou um movimento altamente volátil, fazendo com que a LME fechasse, temporariamente, o comércio da commodity. Essas alterações bruscas e repentinas foram geradas pelas preocupações com o fornecimento de níquel da Rússia, devido à invasão da Ucrânia. A Rússia é um dos maiores produtores de níquel no mercado, o que gerou insegurança no fornecimento (KIM, 2022).

Contextualizando, a Figura 7 apresenta o histórico de preços correlacionados aos níveis de estoque globais de níquel de 1991 a 2021 (GROUP, 2021). A Figura 8 apresenta o comportamento de preço do níquel no ano de 2022, com grande volatilidade a partir das incertezas de fornecimento causadas pela invasão da Rússia à Ucrânia (KIM, 2022).



Figura 7 - Preços e estoque de níquel de 1991 a 2021 (INSG, 2022).



Figura 8 - Preços no níquel no ano de 2022 (LME, 2022).

Nas últimas décadas, a previsão de preços de metais permaneceu popular e muitos pesquisadores aplicaram diferentes técnicas para melhorar a precisão no que pertence à previsão dos preços desses metais, considerando vários cenários e variados fatores enquanto influenciadores do mercado (OZDEMIRUMA; BULUSB; ZOR, 2022).

Pesquisa de Campo

A pesquisa de campo foi realizada na unidade operacional de extração de ferro-níquel na cidade de Barro Alto/ GO, tendo sido implementada no ano de 2011, onde a extração de níquel se deu por mina a céu aberto. Essa unidade faz parte de um complexo de operações, responsável por produzir 45.000 toneladas de ferro-níquel por ano, onde o material retirado é aplicado, principalmente, na indústria global de aço inoxidável.

A primeira etapa do processo de beneficiamento no ferro níquel, que se inicia em uma parte da planta, denominada *Upgrading*, vista na Figura 9, consiste em três circuitos de peneiramento, com o fito de separar o material quartzítico do minério. O produto final, denominado clean WTO, é o minério livre de calcedônias maiores que 40mm. Esse minério é transportado, por caminhões, para o circuito de britagem e da homogeneização na Preparação de Carga

da Planta Industrial. A calcedônia, removida do material passante, é destinada aos depósitos de estéril.



Figura 9 – Planta do Upgrading

A área de Preparação de Carga engloba as unidades de britagem e de secagem do minério, em preparação para os processos de calcinação e de redução. As unidades de beneficiamento de minério, que compõem a preparação de carga, são os pátios de estocagem intermediários, moega, britagem primária, britagem secundária, britagem terciária e pátio de secagem de minério e de britagem quaternária. As etapas mecânicas de preparação, realizadas nestas unidades, têm, como objetivo, adequar as características físicas dos minérios às necessidades das etapas posteriores do processo pirometalúrgico. A Figura 10 mostra um britador primário.



Figura 10 – Britador primário

Com o objetivo de otimizar os custos operacionais, no final do ano de 2014, foi implementado o projeto de introdução do carvão mineral como insumo energético na substituição gradativa do óleo pesado 1A. O projeto de pulverização de carvão já fazia parte do projeto original da Planta e consiste na injeção de finos de carvão nos queimadores dos secadores e dos calcinadores. A Figura 11 mostra o local onde é feita a moagem e pulverização de carvão.



Figura 11 – Moagem e pulverização de carvão.

Na etapa de calcinação, o minério é, gradualmente, aquecido até a uma temperatura de 800°C, a fim de que se chega à secagem completa, à calcinação e à pré-redução. O processo de calcinação é realizado em dois fornos rotativos, mostrados na Figura 12, que operam em linhas independentes. Os fornos têm, cada um, uma capacidade nominal de 147 tph, comprimento de 185m, diâmetro de 7m e velocidade de rotação de 0,8 a 1,2 rpm.



Figura 12 – Calcinadores rotativos

A etapa de fusão redutora é realizada em dois fornos elétricos, que operam em linhas independentes. Um deles é mostrado na Figura 13. A fusão redutora tem, como finalidade, reduzir os óxidos de níquel e parte dos óxidos de ferro, bem como fundir todos os materiais e, assim, promover a separação do metal (ferroníquel) do material de escória (silicato de magnésio). O metal e o silicato de magnésio fundem-se à temperatura da ordem de 1.600°C e, por apresentarem diferença de densidade, o metal deposita-se no fundo do forno e o silicato de magnésio (escória) mantém-se acima.

O metal proveniente do forno elétrico contém impurezas, como enxofre, fósforo, carbono e silício. Essas impurezas são removidas da liga Fe-Ni através do processo de refino, mostrado na Figura 14. O refino é composto por duas etapas, sendo uma redutora e outra oxidante, até que

a liga atenda às especificações de teor de Ni (~25%) em liga Fe-Ni.



Figura 13 – Fornos elétricos de redução.

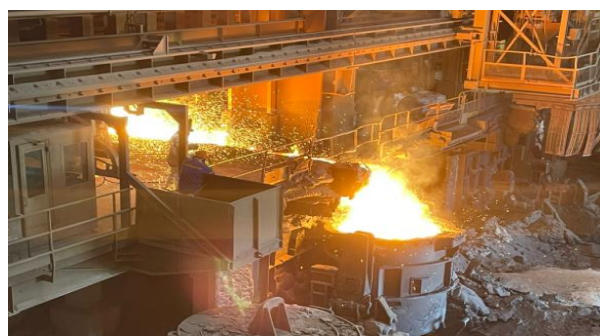


Figura 14 – Refino de metal

O metal refinado é granulado, classificado e estocado para expedição. A granulação gera o metal granulado com tamanho variando de 6 a 70 mm, conforme pode ser visto na Figura 15. A composição final da liga de ferroníquel é: Níquel (28%), Sílica (0,4%), Carbono (0,04%), Enxofre (0,06%) e Fósforo (0,03%).



Figura 15 – Expedição de níquel

No processo de refino é gerado um material de escória de refino, na ordem de 52 ton/dia. Esse material, por conter um alto teor de níquel (2 a 3%), será reincorporado no processo pirometalúrgico. Com essa medida, prevê-se o aumento da recuperação de níquel no processo para índices de 95%. Atualmente, na realidade do

lócus escolhido para a presente pesquisa, a escória é armazenada em um pequeno depósito ao ar livre e próximo da planta.

CONCLUSÕES

O aumento do percentual de níquel em baterias para aplicação em veículos elétricos cresceu exponencialmente, assim como o número de publicações produzidas sobre o tema, evidenciando a crescente demanda por esse minério. Os Estados Unidos dependem fortemente das importações de níquel, enquanto Indonésia, Austrália e Brasil, respondem juntos por cerca de 60% das reservas globais de níquel. A Indonésia é o maior produtor mundial de Níquel. A Rússia aparece em terceiro lugar, em função disso, a invasão da Ucrânia também gera preocupações com o fornecimento de níquel no mercado mundial. Como a utilização de níquel em baterias para aplicação em veículos elétricos está em crescente demanda, a preocupação com seu fornecimento no mercado mundial é algo evidente, haja vista que os estudos mostraram que este mineral poderá ser um impeditivo para a manutenção do processo de transição dos veículos a combustão para veículos elétricos no médio e longo prazo, podendo desacelerar o processo em função do desabastecimento do mercado.

BIBLIOGRAFIA

- BLUMBERGS, Ervins; SERGA, Vera; PLATACIS, Ernests; MAIOROV, Michael; SHISHKIN, Andrei. **A recuperação de Cádmiio de Baterias Ni-Cd Usadas: Uma Breve Revisão**. *Metais*, v. 11, n. 1714, p. 1- 14, out, 2021. Disponível em: <Cadmium Recovery from Spent Ni-Cd Batteries A Brief Review.en.pt (1).pdf> Acesso em: 21 mai. 2023.
- BRASIL, **Agência Nacional de Mineração**. I anuário mineral brasileiro: principais substâncias metálicas. Brasília: ANM, 2021.
- CARDOSO, Jessica. **EUA e China travam disputa tecnológica por influência global**. Poder360, 2022. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/economia/eua-e-china-travam-disputa-tecnologica-por-influencia-global/>. Acesso em: 21 mai. 2023.
- CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de et al. **Panorama e tendências do mercado de níquel: estudo realizado em junho de 2015**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 42, p. 245-295, set, 2015.
- CONFERÊNCIA de Transporte Sustentável pede ação amplamente acelerada para alcançar emissões líquidas zero e construir um futuro verde, inclusivo e equitativo. **United Nations**, 2021. Disponível em: <https://www.un.org/en/desa/sustainable-transport-conference-calls-vastly-accelerated-action-achieve-net-zero-emissions-and>. Acesso em: 21 nov. 2022.
- ESTATÍSTICAS anuais do inox. **ABINOX**, 2021. Disponível em: < https://abinox.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 23 dez. 2022.
- GROUP, **International Nickel Study Group**. The word nickel factbook 2021, 2021. Disponível em: <THE WORLD NICKEL FACTBOOK 2021 (insg.org)>. Acesso em: 01 out. 2022.
- GUOHUA, Yuan; ELSHKAKIB, Ayman; XIAOUMA, Xi. **Análise dinâmica da demanda futura de níquel, fornecimento e materiais associados, energia, água e emissões de carbono na China**. *Política de Recursos*, v. 74, n. 102432, p. 1-10, out, 2021. Disponível em: <Dynamic analysis of future nickel demand, supply, and associated.en.pt.pdf> Acesso em: 20 mai. 2023.
- HEIDER, Mathias. **Estrutura produtiva do Níquel no brasil**. InTheMine, 2022. Disponível em: <https://www.inthemine.com.br/site/estrutura-produtiva-do-niquel-no-brasil/>. Acesso em: 23 nov. 2022.
- HEIJLEN, Wouter; FRANCESCHI, Guy; DUHAYON, Chris; NIJEN, Kris Van. **Avaliando a adequação do pipeline global de desenvolvimento de mina terrestre à luz de cenários futuros de alta demanda: O caso da bateria-metais níquel (Ni) e cobalto (Co)**. *Política de Recursos*, v. 73, n. 102202, p. 1-14, jul, 2021. Disponível em: <Assessing the adequacy of the global land-based mine development pipeline.pdf> Acesso em: 22 nov. 2022.
- KIM, Tae-Yoom. **Minerais críticos ameaçam uma tendência de décadas de declínio de custos para tecnologias de energia limpa**. Agência Internacional de Energia, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/commentaries/critical-minerals-threaten-a-decades-long-trend-of-cost-declines-for-clean-energy-technologies>. Acesso em: 28 nov. 2022.
- LIU, Bin; LIU, Xiaorui; DING, Jia; HUUMA, Wenbin; ZHONGUMA, Cheng. 120 anos de cátodos à base de níquel para baterias alcalinas. **Jornal de Ligas e Compostos**, v. 834, n. 155185, p. 1-11, abri, 2020. Disponível em: <120 Years of nickel-based cathodes for alkaline batterie .en. pt.pdf> Acesso em: 20 nov. 2022.

- MARTINS, Livia Sales; GUIMARÃES, Lucas Fonseca; BOTELHO JUNIOR, Amilton Barbosa; TENORIO, Jorge Alberto Soares; ESPINOSA, Denise Croce Romano. **Bateria de carro elétrico: uma visão geral da demanda global, reciclagem e abordagens futuras para a sustentabilidade.** Revista de Gestão Ambiental, v. 295, n. 113091, p. 1-16, jun, 2021. Disponível em: <Electric car battery An overview on global demand, recycling and future.en.pt (1).pdf> Acesso em: 01 out. 2022.
- NÍQUEL: o metal crítico que impulsionará a revolução dos veículos elétricos. Sherritt, 2021. Disponível em: <Nickel The Critical Metal May-3-21.en.pt.pdf> Acesso em: 27 set. 2022.
- NÍQUEL sulfetado produzido pela Atlantic Nickel é insumo para produção de baterias de veículos elétricos. Atlantic Nickel, 2020. Disponível em: <https://atlanticnickel.com/niquel-sulfetado-produzido-pela-atlantic-nickel-e-insumo-para-producao-de-baterias-de-veiculos-eletricos/> Acesso em: 23 de nov. 2022.
- O ACORDO de Paris. **United Nations**, 2022. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement> Acesso em: 21 nov. 2022.
- OS FATORES que transformaram a China em uma potência da inovação. **ABMES**, 2019. Disponível em: <https://abmes.org.br/noticias/detalhe/3387> 22 dez. 2022.
- OLIVEIRA, Sonia Maria Barros de. **Estágio atual do conhecimento acerca do minério laterítico de níquel no Brasil e no mundo.** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 49-57, jul./dez, 1990.
- OZDEMIRUMA, Ali Can; BULUSB, Kurtulus; ZOR, Kasim. **Previsão de preço de níquel de médio a longo prazo usando redes LSTM e GRU.** Política de Recursos, v. 78, n. 102906, p. 1-10, ago, 2022. Disponível em: <Previsão de preço de níquel de médio a longo prazo usando redes LSTM e GRU.pdf> Acesso em: 19 dez. 2022.
- RATH, Manasa Kumar et al. Desenvolvimento de célula de combustível de óxido sólido de grande área altamente eficiente e durável por meio de uma impressora tridimensional de escrita direta com tinta. **Jornal de Fontes de Energia**, v. 552, 2022.
- SILVA, Cristina Socorro da. Níquel. **Balanço Mineral Brasileiro**, 2001. Disponível em: Disponível em: <niquel (www.gov.br)> Acesso em: 27 set. 2022.
- TRACY, Brandon S. **Minerais críticos em baterias de veículos elétricos.** Congressional Research Service, 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/RuteL/Downloads/Critical%20Minerals%20in%20Electric%20Vehicle%20Batteries.en.pt%20(1).pdf > Acesso em: 27 set. 2022.
- USO primário do níquel. **Nickel Institute**, 2021. Disponível em: <https://nickelinstitute.org/en/about-nickel-and-its-applications/#mining>. Acesso em: 01 out. 2022.
- VALE assina acordo com GM para fornecer níquel para veículos elétricos. **Vale**, 2022. Disponível em: <Vale confirma acordo com a Tesla para fornecimento de níquel de baixa emissão de carbono - Vale >. Acesso em: 23 nov. 2022.
- VILELA, Donizeth Alves. **Panorama da Indústria Brasileira de Níquel: Contexto Internacional, Tendências e Players.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico), Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p.57, 2002.
- WANG, Xingxing; WANG, Anjian; ZHONG, Weiqiong; ZHU, Depeng; WANG, Chunhui. **Análise do fluxo internacional de níquel com base na cadeia industrial.** Política de Recursos, v. 77, n. 102729, p. 1-9, abr, 2022. Disponível em: <Analysis of international nickel flow based on the industrial chain.en.pt.pdf> Acesso em: 20 nov. 2022.
- ZHAO, Kun; GAO, Feng; YANG, Qunying. Revisão Abrangente sobre Processos de Atualização Metalúrgica de Minérios de Sulfeto de Níquel. **Revista de Metalurgia Sustentável**, v. 8, p. 38-50, 2022. Disponível em: <Comprehensive Review on Metallurgical Upgradation Processes.en.pt.pdf> Acesso em: 20 nov. 2022.
- ZIBECHI, Raúl. **Na crise da mineração, chance para a América Latina. Outras palavras**, 2015. Disponível em: <Na crise da mineração, chance para a América Latina - Outras Palavras> Acesso em: 21 nov. 2022.