

100

Série Estudos e Documentos

Cobalto no Brasil: metalurgia extrativa, ocorrências e projetos

**Marisa Nascimento
Paulo Sergio Moreira Soares**

CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL



SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

Cobalto no Brasil: metalurgia extrativa, ocorrências e projetos

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

Marcos Cesar Pontes

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Julio Francisco Semeghini Neto

Secretário-Executivo

Gerson Nogueira Machado de Oliveira

Subsecretário de Unidades Vinculadas

Cesar Augusto Rodrigues do Carmo

Coordenador-Geral de Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Gustavo Silva Menezes

Coordenador de Administração - COADM

Robson de Araújo D'Ávila

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador do Núcleo Regional do Espírito Santo - CONES

José Antônio Pires de Mello

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

ISSN 0103-6319

ISBN 978-85-8261-112-8

SED - 100

Cobalto no Brasil: metalurgia extrativa, ocorrências e projetos

Marisa Nascimento

D.Sc. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais
COPPE/UFRJ. Pesquisadora do CETEM/MCTIC

Paulo Sergio Moreira Soares

D. Sc. em Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de
Química da UFRJ. Pesquisador do CETEM/MCTIC

CETEM/MCTIC

2019

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

Carlos Cesar Peiter

Editor

Ana Maria Botelho M. da Cunha

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Francisco Rego C. Fernandes (CETEM), Gilson Ezequiel Ferreira (CETEM), Alfredo Ruy Barbosa (consultor), Gilberto Dias Calaes (ConDet), José Mário Coelho (CPRM), Rupen Adamian (UFRJ).

A Série Estudos e Documentos publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minerometalúrgica.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Editoração Eletrônica

Marisa Nascimento

Revisão

Ana Maria Silva Vieira de Sá

CRB7 3982

Catálogo na Fonte

Nascimento, Marisa

Cobalto no Brasil: metalurgia extrativa, ocorrências e projetos / Marisa Nascimento, Paulo Sergio Moreira Soares. __Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2019.

35p.:il. (Série Estudos e Documentos, 100)

1. Cobalto. 2. Metalurgia extrativa. 3. Mineração. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Soares, Paulo Sergio Moreira. III. Título. IV. Série.

SUMÁRIO

RESUMO _____	7
ABSTRACT _____	8
1 INTRODUÇÃO _____	9
2 O COBALTO NO BRASIL _____	12
2.1 Minérios Lateríticos _____	12
2.2 Minérios Sulfetados _____	15
2.3 Depósitos de Leito Marinho _____	16
3 PROCESSOS METALÚRGICOS PARA O APROVEITAMENTO ECONÔMICO DE COBALTO _____	17
3.1 Minérios Lateríticos _____	18
3.2 Minérios Sulfetados _____	23
3.3 Nódulos Oceânicos _____	25
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	29

RESUMO

Em função de suas inúmeras aplicações em produtos industriais e domésticos de alta tecnologia e uso cotidiano, o cobalto pode ser considerado um elemento estratégico. O Brasil possui inúmeras ocorrências de cobalto em geral associados a depósitos de níquel que são alvos para ações de PD&I em um plano estratégico para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva do metal. O processamento hidrometalúrgico é aplicável a essas ocorrências, tanto às tradicionais como os minérios sulfetados e lateríticos quanto às alternativas como as crostas e nódulos marinhos. Dentre os temas relevantes em PD&I para cobalto no Brasil destacam-se os estudos de caracterização tecnológica de novas fontes do metal, o desenvolvimento de processos específicos em metalurgia extrativa para produção de cobalto metálico e/ou compostos químicos de cobalto a partir de minérios com elevado teor de magnésio e a partir de nódulos e crostas marinhos. São também relevantes os estudos sobre a mitigação dos impactos socioambientais dos processos de produção e a recuperação de cobalto a partir de fontes secundárias.

Palavras-chave

Cobalto, metalurgia extrativa, mineração.

ABSTRACT

Due to intensive applications in industrial and high technology and everyday use products, cobalt is considered a strategic element. Brazil has many mineral occurrences of cobalt generally associated with nickel which are potential targets of RD&I actions in a strategic plan for the development of the metal production chain. Hydrometallurgical processes are applicable to these occurrences both traditional as sulphide and lateritic ores and alternative as crusts and marine nodules. Among the most relevant topics in RD&I for cobalt in Brazil one can quote the studies of technological characterization of new metal sources, the development of specific processes in extractive metallurgy for the production of metallic cobalt and/or cobalt chemical compounds from high magnesium ores and from marine crusts and nodules. The mitigation of the socio-environmental impacts of production processes and the cobalt recovery from secondary sources are also relevant research topics.

Keywords

Cobalt, extractive metallurgy, mining

1 | INTRODUÇÃO

O cobalto é encontrado em uma enorme gama de produtos de uso industrial e doméstico entre os quais os catalisadores para processamento de combustíveis, as baterias portáteis recarregáveis, os dispositivos para equipamentos de diagnósticos em saúde, os materiais magnéticos, os pigmentos, pneus, protetores de corrosão em ligas metálicas, os dispositivos para processamento digital, os dispositivos de corte, perfuração e etc. O elemento é considerado uma matéria-prima crítica para a União Européia e estrategicamente importante para os Estados Unidos.

A República Democrática do Congo – RDC é responsável por mais da metade da produção mundial de cobalto (54%) que é destinada em sua grande parte à China, principal produtora mundial de compostos químicos do metal. O concentrado desse elemento é produzido como um subproduto do processamento de minério de cobre (FONSECA, 2016). O país, que também considera o cobalto como um mineral estratégico, possui uma política mineral apontada muitas vezes por especialistas como imprevisível. Além disto, são relatados problemas nas regiões de mineração que envolvem conflitos sociais, práticas de lavra predatória e exposição de trabalhadores à radiação proveniente do urânio presente no minério. A importância da RDC como principal produtora mundial de cobalto e as características da atividade de mineração neste país, contribuem para a instabilidade dos preços do metal no mercado internacional (SADOF et al., 2018).

O cobalto é tipicamente produzido como coproduto em operações de mineração para extração de níquel ou cobre. Mundialmente, uma única mina localizada em Bou-Azzer no Marrocos produz, a partir de arsenetos, concentrado de minério de cobalto como produto principal (DOLANSKY, 2007). Os trabalhos de lavra na área iniciaram-se em 1932 produzindo molibdênio como subproduto (USGS, 2003). A produção de cobalto a partir de arsenetos também é relatada em áreas do Canadá e dos Estados Unidos (FISHER, 2011).

Na América do Sul há projetos em andamento no Chile para a produção de cobalto em uma região conhecida no passado como La Cobaltera, de onde foram extraídas entre 1844 e 1941 mais de sete milhões de toneladas do metal e cuja operação encontrava-se desativada (LOMBRANA, 2018). A área tem sido novamente apontada como promissora pelas empresas do país (CHILEAN COBALT CORP., 2018).

O recente interesse sobre o cobalto pode ser atribuído à crescente demanda desse elemento para produção de baterias de carros elétricos/híbridos. A produção de baterias de íon-Li, bem como a aplicação de cobalto em outros produtos, poderão alavancar em 68% o consumo mundial deste elemento até 2025 (SHEDD et al., 2017). Por outro lado a oferta mundial de cobalto depende bastante da demanda de cobre e de níquel, devido a seu status de coproduto (FELTER, 2018). Este status, porém, tende a se modificar. Alguns analistas de mercado apontam a instabilidade política da RDC e o crescimento do preço do metal (150% entre 2017-2018) e de seu consumo (8-10% por ano), como motores desta modificação (SHERMAN, 2018). É possível prever que uma crescente demanda por cobalto se estabeleça mais firmemente a partir da próxima

década, quando a produção e as vendas de carros elétricos/híbridos deverão aumentar (DESAI, 2018), levando a uma escassez do metal no mercado já em 2022 (SHERMAN, 2018).

Cobalto metálico foi produzido no Brasil até o ano de 2016 e a retomada da produção parece depender da viabilidade de projetos de níquel e cobre (HEIDER, 2018).

O Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Minerais Estratégicos – PCTIME 2018-2022 do Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicações – MCTIC (PCTIME, 2018) promove ações para a identificação e o estudo de novos minerais a serem incluídos na categoria dos estratégicos, entre os quais o cobalto. O presente trabalho trata sucintamente das ocorrências de cobalto no Brasil, bem como das alternativas para o seu processamento metalúrgico, de forma a contribuir para o estabelecimento dessas ações, a inclusão do cobalto como mineral estratégico no PCTIME e o desenvolvimento da cadeia produtiva deste metal no País.

2 | O COBALTO NO BRASIL

O cobalto no Brasil ocorre, sobretudo, associado aos minérios de níquel que, por sua vez, podem ser classificados como sulfetados ou lateríticos. As reservas nacionais de cobalto são oficialmente da ordem de 70 mil toneladas e os principais depósitos localizam-se em Niquelândia/Barro Alto - GO e em Fortaleza de Minas - MG (FONSECA, 2016). Existem, no entanto, outros depósitos lateríticos e sulfetados de níquel no Brasil que podem ser considerados fontes identificadas ou potenciais de cobalto.

2.1 | Minérios Lateríticos

Os depósitos de Níquel e Cobalto em Niquelândia - GO são citados como a principal fonte de cobalto em minérios lateríticos no Brasil. As reservas de Niquelândia são da ordem de 60 milhões de toneladas (1,38% Ni e 0,04% Co) sendo as principais jazidas: Corriola, Córrego da Fazenda, Vendinha, Angiquinho e Ribeirão do Engenho (FONSECA, 2016).

Até 2016, carbonato de níquel contendo cobalto foi produzido em Niquelândia e transportado para a unidade da Votorantim Metais – VM (atualmente Nexa Resources) em São Miguel Paulista - SP onde era processado para obtenção de Co metálico. Cerca de 1.350 toneladas de cobalto metálico foram produzidas pela VM em 2014. A empresa foi a única produtora de cobalto eletrolítico no Brasil e suspendeu as operações em 2016 devido aos preços não atrativos do níquel (VELASCO, 2016).

A CODEMIN (AngloAmerican) produz liga ferro-níquel na mesma região, a partir do minério da mina de Niquelândia-Norte, correspondente a uma produção de cerca de 9 mil toneladas de níquel em 2018 (ANGLOAMERICAN, 2019). Foram indicados teores de 1,44% Ni e 0,04% Co na alimentação da unidade industrial e ainda um teor de 0,56% de Co na liga Fe-Ni final (WARNER et al., 2006).

Outro projeto denominado de Vermelho é atualmente conduzido pela empresa britânica Horizonte Minerals no município de Canaã dos Carajás - PA. O depósito de 86 milhões de toneladas de minério laterítico polimetálico possui teores médios de 1,24% Ni e 0,05% Co. A vida útil da jazida foi estimada em 40 anos e o processo HPAL (High Pressure Acid Leaching), a ser adotado, permitirá a produção de 2.500 toneladas por ano de cobalto metálico. Uma unidade da mesma empresa encontra-se em fase de licença de instalação em Conceição do Araguaia - PA. As reservas prováveis de 24,65 Mt de minério laterítico apresentam teores médios de 1,44% Ni e 0,05% Co e serão utilizadas para a produção pirometalúrgica de liga Fe-Ni (HORIZONTE MINERALS, 2018).

O projeto Jacaré da AngloAmerican no município de São Félix do Xingu - PA, conta com recursos de 495 Mt de minério com 1,19% Ni e 0,13% Co. O teor de Co em Jacaré é considerado um dos mais altos já vistos para depósitos de Ni/Co de grande tonelagem. O projeto utilizará a tecnologia HPAL (LIRA, 2018; ANGLO AMERICAN, 2010). Em uma área ao sul de Jacaré, a empresa australiana Centaurus Metals realiza pesquisas para o projeto Itapitanga de níquel/cobalto. Alguns dos resultados de sondagem revelaram teores entre 1-1,28% Ni e 0,09-0,15% Co (CENTAURUS METALS, 2018).

O projeto Onça Puma, da Vale, em Ourilândia do Norte - PA, conta com reservas estimadas em 77,7 Mt, com teores médios de 1,8% Ni e 0,12% Co. A unidade de produção foi projetada para processar minérios oriundos de duas áreas: da Serra do Onça, próxima à planta industrial, e da Serra do Puma, a cerca de 16 Km de distância. A capacidade de produção é de 53 mil toneladas de níquel por ano como liga Fe-Ni contendo Co (OLIVON, 2011; CAN. MIN.JOURN., 2005).

A Piauí Níquel Metais, controlada pela britânica Brazilian Nickel pretende produzir cobalto e níquel a partir de um depósito localizado no município de Capitão Gervásio de Oliveira - PI, de 70 Mt de minério laterítico e teores médios de 1% Ni e 0,05% Co. A empresa operou uma planta piloto a partir de 2016 que contava com lixiviação em pilha (HL), precipitação (PPT) e troca iônica (IX). Em 2017 o projeto encontrava-se em fase de captação de investidores (BRAZILIAN NICKEL LIMITED, 2017) e em 2019 foi realizada audiência pública para discussão do EIA/RIMA do empreendimento que extrairá e beneficiará 24,5 mil toneladas anuais de níquel e 1,1 mil ton/ano de cobalto gerando cerca de 650 empregos diretos por aproximados 17,5 anos (CIDADE VERDE, 2019).

A Mineração Morro Azul, produz liga Fe-Ni em Pratápolis - MG. A empresa é detentora dos direitos de lavra para extração de níquel, em uma área de 51,32 ha, anteriormente pertencente a Morro do Níquel S/A. As reservas de Pratápolis são da ordem de 500 mil toneladas com um teor de 1,46% Ni (FONSECA, 2016). Não há informações disponíveis sobre os

teores de cobalto no minério de Pratápolis, mas a liga Fe-Ni refinada contém cerca de 1% de Co (GRIFFON; RICHTER, 1976).

Há ainda projetos da AngloAmerican no Morro sem Boné e Morro do Leme no município de Comodoro - MT que fazem referência a teores de Ni de 1,8% em depósitos lateríticos. Cobre, cobalto e cromo são elementos presentes no minério, embora sem informações sobre teores (USGS, 2008).

2.2 | Minérios Sulfetados

A mineração Serra da Fortaleza, uma unidade da VM, foi uma importante produtora de matte de níquel em Fortaleza de Minas - MG. As reservas geológicas totalizavam 5,1 milhões de toneladas de minério com ocorrência de cobre e cobalto (SILVA, 2009). A produção foi paralisada em 2013 com a justificativa do baixo preço do níquel no mercado.

A Prometálica – Mineração Centro Oeste, produziu um concentrado de sulfetos de níquel/cobalto que era enviado para processamento na unidade da VM em Fortaleza de Minas - MG, a partir do depósito de Santa Marta, no município de Americano do Brasil - GO. O Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM reportou teores de 0,03% Co no minério sulfetado (FONSECA, 2010).

A empresa australiana Mirabela Mineração opera a mina de Santa Rita no município de Itagibá - BA localizado a cerca de 370 Km de Salvador. As reservas de minério sulfetado são estimadas em 18 Mt, com 0,01-0,02% Co, 0,50% Ni, 0,20% Cu e 0,35 g/t de Pt + Pd (MIRABELA, 2014; FERREIRA et al.

2013). Atualmente a empresa exporta integralmente pelo porto de Ilhéus o produto obtido em sua unidade de concentração.

Além das citadas ocorrências de cobalto no País, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM aponta também mais de 50 ocorrências de níquel classificadas como minas, ou depósitos que, em tese, poderiam constituir-se em fontes potenciais de cobalto (KLEIN et al., 2018).

2.3 | Depósitos de Leito Marinho

Nódulos e Crostas de Fe-Mn-Co de origem marinha são também apontados mundialmente como minerais para a potencial produção de cobalto.

Desde 2009, a CPRM estuda a Elevação do Rio Grande como área de interesse para aproveitamento econômico destes minerais. A Elevação do Rio Grande está localizada em águas internacionais do Atlântico Sul, a mais de 1,1 mil Km da costa brasileira. Os estudos demonstraram que na Elevação há indícios de áreas ricas em cobalto, níquel, manganês, fosfato, platina e terras raras (CPRM, 2017). Os teores médios de cobalto e níquel das crostas são tão altos (Co 0,92% e Ni 0,34%) quanto aqueles encontrados nas que ocorrem nos oceanos Pacífico e Índico (CAVALCANTE et al. 2017).

3 | PROCESSOS METALÚRGICOS PARA O APROVEITAMENTO ECONÔMICO DE COBALTO

O processamento metalúrgico para extração de cobalto depende da mineralogia e do teor do minério, do produto a ser obtido e sua pureza, além de ser condicionado por fatores, tais como regulamentações ambientais, requisitos de logística e riscos tecnológicos e econômicos.

Os minérios de cobalto, sulfetados ou oxidados, tem seu processamento em geral associado à indústria de cobre ou níquel. Estima-se que 55% do cobalto produzido no mundo tenha sido obtido a partir da mineração de níquel (COBALT INST., 2019). O metal também pode ocorrer associado a minérios de cobre, ouro, prata, zinco e chumbo.

Na RDC, o cobalto, na forma de heterogenita (CoOOH) ou stainierita ($\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) é recuperado do concentrado de flotação do minério de cobre (3-4% Cu e 0,3% Co) (RUMBU, 2016). Na planta de Liulu na RDC, o processo hidrometalúrgico envolve as operações de calcinação (para sulfetos), lixiviação sulfúrica em tanques agitados com injeção de SO_2 e eletrólise de Cu, seguindo-se a remoção das impurezas que contém cobalto. O cobalto é então precipitado seletivamente com ajuste de acidez por adição de Ca(OH)_2 . Manganês, zinco e níquel permanecem em solução. O hidróxido de cobalto é redissolvido e o metal é produzido por eletrorrecuperação (FISHER, 2011; CRUNDWELL, 2011).

Na Figura 1 são apresentados os principais processos aplicados para produção de cobalto, quando associado a minérios lateríticos ou sulfetados, como ocorrem no Brasil. No caso de lateritas, são obtidos diferentes produtos de acordo com o processo adotado tais como ligas Fe-Ni contendo

cobalto ou, níquel e cobalto eletrolíticos. No caso de sulfetos há a possibilidade de recuperação do cobalto a partir da lixiviação do matte de níquel.

3.1 | Minérios Lateríticos

Um depósito laterítico típico, contendo cobalto e níquel, pode ser classificado em três zonas distintas onde são distinguidas limonita, uma fase de transição e saprolito que ocorrem com o aumento da profundidade a partir da superfície do solo. Os processos para a produção de cobalto e níquel, são definidos principalmente pelos teores de Fe e Mg e, pelas características mineralógicas específicas dessas zonas (CRUNDWELL et al, 2011) além do tamanho do depósito, teores contidos e preços desses metais.

A Figura 2 associa as alternativas de processamento às características do minério em um depósito laterítico de cobalto/níquel.

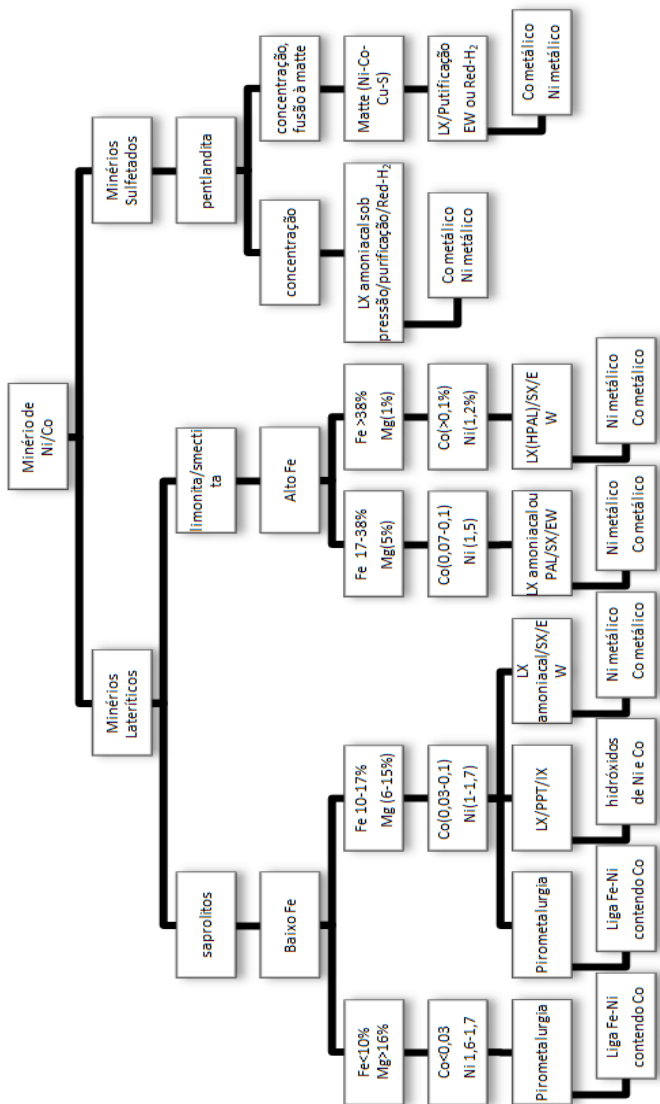


Figura 1. Processos de extração de cobalto e níquel a partir de minérios lateríticos e sulfetados (adaptado de CRUNDWELL et al., 2011).

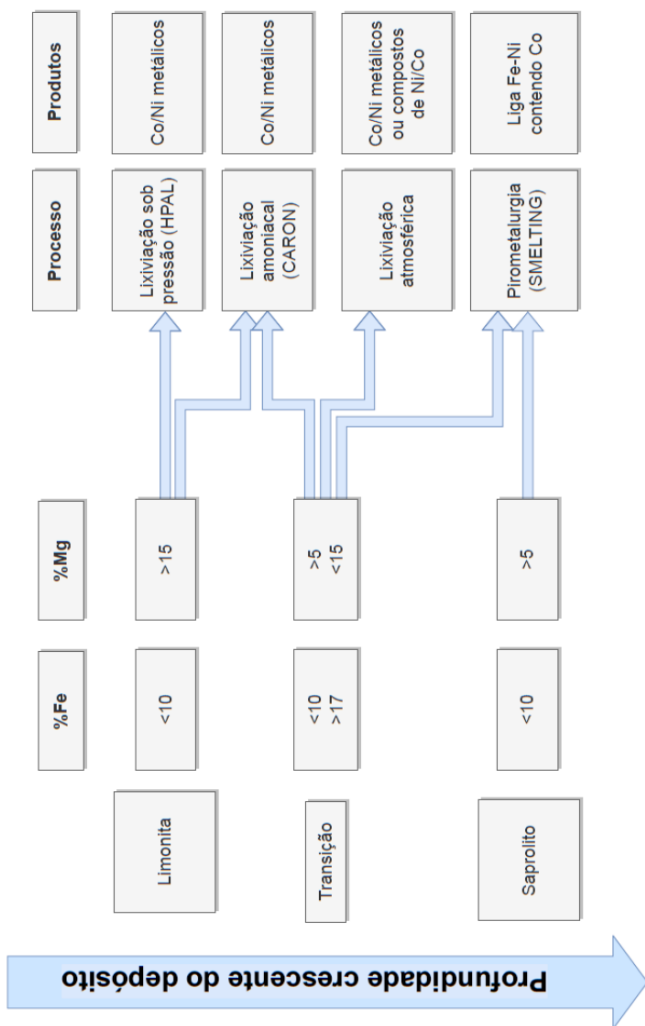


Figura 2. Perfis de lateritas de níquel/cobalto e rotas processamento (adaptado de CRUNDWELL et al., 2011).

O processo pirometalúrgico é recomendado no caso de minérios com baixo teor de ferro (saprolitos com $Fe < 10\%$) e alto de magnésio ($Mg > 15\%$) como, por exemplo, o operado pela Codemin em Niquelândia - GO. O mesmo processo é previsto no projeto Onça-Puma no estado do Pará. O produto final, em ambos os casos, é uma liga Fe-Ni contendo cobalto que não é recuperado individualmente.

A alternativa pirometalúrgica é a recomendada nesse caso, uma vez que a opção por um processo hidrometalúrgico acarretaria em um elevado consumo de agente lixiviante devido ao alto teor de Mg no minério.

Além do processo pirometalúrgico, já descrito, quando o objetivo é a recuperação de cobalto e níquel individualmente, a alternativa hidrometalúrgica é recomendada para o processamento de minérios originários da zona de transição ($10\% < Fe < 17\%$ e $5\% < Mg < 15\%$). Duas rotas hidrometalúrgicas são possíveis.

A primeira é o processo de lixiviação amoniacal (Processo Caron) que leva à produção de cobalto e níquel eletrolíticos. O minério cominuído, beneficiado por peneiramento e seco, é conduzido à fornos de soleiras, onde são introduzidos gases para a redução do cobalto e níquel. Em seguida, é resfriado e encaminhado aos tanques de tempera onde se adiciona solução amoniacal. A polpa sofre ação do ar, cobalto e níquel são oxidados e passam à solução. Esta solução rica nos metais é purificada e na sequência, encaminhada para etapa de precipitação obtendo-se carbonatos básicos. Estes carbonatos são solubilizados em meio sulfato e então tratados por extração por solventes e eletrorecuperação para obtenção do cobalto e níquel metálicos (HABASHI, 1999).

A Companhia Níquel Tocantins (VM) empregava o processo Caron para a produção de cobalto e níquel metálicos no Brasil até 2016.

No caso de minérios limoníticos ($Mg > 15\%$ e $Fe < 10\%$) além do processo Caron, pode ser empregada a lixiviação sob pressão – HPAL, utilizando H_2SO_4 como agente lixiviante (CRUNDWELL et al, 2011). O minério inicialmente é submetido a uma etapa de beneficiamento e a seguir a polpa é alimentada em autoclaves de titânio que operam a temperatura e pressão elevadas. Óxidos de cobalto e níquel do concentrado, são solubilizados como sulfatos de $Co(II)$ e $Ni(II)$.

O processo HPAL permite a regeneração de parte do ácido sulfúrico utilizado na lixiviação. Isso se deve à hidrólise dos sulfatos de ferro e alumínio formados durante o processo, que gera H^+ e óxidos ou sulfatos básicos de $Fe(III)$ e $Al(III)$ e são removidos do licor de lixiviação como produtos sólidos.

No caso de pequenos depósitos de baixos teores de cobalto e níquel a alternativa de lixiviação em pilhas (HL) pode ser atraente ao invés da HPAL.

O licor de lixiviação, produzido nos processos HPAL ou HL, passa por etapas de separação, purificação e concentração (precipitação (PPT), extração por solventes (SX) ou troca iônica (IX)). A recuperação do produto final pode ser realizada por PPT ou eletrorrecuperação (EW). São produzidos compostos purificados de cobalto e níquel ou os elementos em sua forma metálica (GEORGIU; PAPANGELAKIS, 1998).

O projeto do Vermelho em Canaã dos Carajás - PA foi concebido para a produção de cobalto e níquel metálicos empregando o processo HPAL. Por outro lado, o projeto Piauí

Níquel em Capitão Gervásio de Oliveira - PI, em função das características do depósito, adotou o processo HL, seguido de IX para produção de hidróxidos de cobalto e níquel (BRAZILIAN NICKEL LTD., 2017).

A literatura cita ainda bons resultados de recuperação de cobalto de minérios lateríticos empregando processos de biolixiviação (RUMBU, 2016).

3.2 | Minérios Sulfetados

A metalurgia extrativa do cobalto associado a sulfetos envolve em geral o processamento da pentlandita $(\text{Fe, Ni, Co})_9\text{S}_8$, que contém entre 0,8 – 1,4 % Co (CRUNDWELL et al, 2011). A concentração desse minério pode ser realizada por flotação.

A VM produzia matte de níquel em suas instalações em Fortaleza de Minas - MG, empregando o processo DON (Direct Outokumpu Nickel Process) (ALONSO, 2013). O Matte, produzido pela VM era integralmente exportado e não havia produção local de cobalto.

Os concentrados de sulfetos contendo cobalto também podem ser processados para a produção de um matte de níquel (Ni-Co-Cu-S) que em geral contém metais do grupo da Platina – PGM (Pt, Pd, Ir, Os, Rh e Ru) (USGS, 2018). O concentrado é lixiviado e a solução aquosa obtida desta etapa é tratada para recuperação do cobalto, níquel, cobre e PGM. Para a lixiviação do matte são empregadas condições fortemente oxidantes utilizando cloro em uma solução de ácido clorídrico ou ar em soluções amoniacais, ou ainda oxigênio em ácido sulfúrico (CRUNDWELL et al, 2011; OUTOTEC, 2014).

O cobalto é produzido por eletrorrecuperação ou redução por hidrogênio a partir de uma solução previamente purificada do metal.

A literatura ainda reporta rotas hidrometalúrgicas para lixiviação de minérios sulfetados de cobalto e níquel entre os quais o clássico processo Sherrit-Gordon de lixiviação amoniacal com alta pressão. Neste processo, inicialmente níquel, cobalto e cobre são solubilizados na forma de complexos amoniacaís. O Fe é menos solúvel e permanece nos resíduos sólidos da lixiviação. O excesso de amônia é removido do sistema por processos de destilação e filtração. Após a remoção do Cu por adição de sulfeto ou enxofre elementar seguida de operações de oxidação/hidrólise, a solução amoniacal contendo cobalto e níquel é levada à etapa de redução por hidrogênio e precipitação sequencial produzindo níquel e cobalto metálicos. Níquel e cobalto que estejam ainda em solução são precipitados sob a forma de sulfetos e a solução de sulfato de amônia residual é enviada para cristalização e produção de fertilizantes (HABASHI, 1999; MACKIW et al, 1958).

Alternativas do processo aplicando lixiviação atmosférica ou refino de precipitados de sulfetos também são reportadas na literatura e podem ser aplicáveis em condições particulares (CRUNDWELL et al, 2011; HABASHI, 1999).

3.3 | Nódulos Oceânicos

Cobalto, níquel, cobre, molibdênio e zinco presentes nos nódulos e crostas oceânicos de Fe-Mn podem ser recuperados a partir de processos hidrometalúrgicos específicos, adequados a baixas concentrações, dentre esses, o processo Cuprion e a lixiviação sulfúrica sob pressão (PAL).

O processo Cuprion envolve a etapa de redução em tanques agitados de uma polpa constituída por nódulos marinhos previamente cominuídos. Monóxido de carbono é utilizado como agente redutor, na presença de íons cuprosos e amônia. Cobalto, cobre e níquel passam à solução. Cobre e níquel são então separados por extração por solventes e reduzidos por eletrorecuperação, enquanto o cobalto é recuperado por precipitação com sulfetos.

O processo de lixiviação sob pressão consiste no ataque dos nódulos e crostas já previamente cominuídos com uma solução de ácido sulfúrico. Cobre, cobalto e níquel são solubilizados e recuperados por precipitação com sulfetos. O sulfeto de cobre formado é calcinado para formação de óxido de cobre seguido de abertura sulfúrica e eletrorecuperação para a produção de cobre metálico. Níquel e cobalto, mantidos como sulfetos, podem ser processados em meio cloreto e separados para a obtenção dos seus respectivos sais ou ainda para recuperação eletrolítica.

O processo pirometalúrgico também pode ser aplicado para crostas e nódulos de Fe-Mn da mesma forma como para minerais sulfetados de níquel/cobalto. Nesse caso é produzido um matte de níquel/cobalto/cobre (ISA, 2018).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cobalto foi identificado no PCTIME 2018-2022 como um elemento a ser incluído entre os estratégicos para o País. Adicionalmente, a potencialidade dos recursos minerais brasileiros para cobalto justifica a realização de estudos e a formulação de programas de PD&I com a participação conjunta do governo, da academia e do setor privado. Esses estudos e programas têm como consequência o estímulo ao estabelecimento de cadeias produtivas e a agregação de valor à matéria prima mineral nacional.

Diante dos aspectos abordados, em especial das projeções de crescimento de consumo no setor de energia, e com foco nas atividades de extração e processamento metalúrgico de matérias primas minerais de cobalto, pode-se sugerir preliminarmente alguns temas de PD&I que podem ser considerados como estruturantes para o futuro desenvolvimento de uma cadeia produtiva do metal no Brasil, dentre eles: estudos de caracterização tecnológica em depósitos de minerais sulfetados e lateríticos de níquel, para identificação e quantificação de cobalto; desenvolvimento de processos de metalurgia extrativa para produção de cobalto metálico e/ou compostos químicos de cobalto (incluindo-se a biohidrometalurgia e a recuperação de cobalto a partir de lateritas com alto teor de magnésio) e; o desenvolvimento de processos metalúrgicos específicos para o aproveitamento econômico de cobalto a partir de depósitos de crostas e nódulos oceânicos da Elevação do Rio Grande.

Adicionalmente, embora se encontre além do escopo do presente trabalho, é importante registrar a fundamental necessidade de estimular a PD&I em temas que envolvam estratégias de previsão, controle e mitigação de impactos socioambientais das operações de lavra, beneficiamento e processamento metalúrgico de matérias primas minerais de cobalto, além de estudos para a reciclagem de cobalto a partir de fontes secundárias do metal tais como imãs, catalisadores e ligas especiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, O. Valor Econômico. São Paulo: Globo Notícias; 2013 [atualizada em 27 set. 2013; Disponível em: <https://www.valor.com.br/empresas/3285544/votorantim-metais-vai-parar-de-produzir-niquel-em-minas-gerais>. Acesso em 29 out. 2018.

ANGLOAMERICAN. Jacaré Nickel Deposit. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral; 2010 Maio 23-26; Ouro Preto, Brasil. Brasília: ADIMB; 2010.

ANGLOAMERICAN. News release. Disponível em: <https://brasil.angloamerican.com/~media/Files/A/Anglo-American-Group/Brazil/im-prensa/press-releases/q4-2018-production-report.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2019.

BRAZILIAN NICKEL LIMITED. London: Brazilian Nickel Plc; 2017. Disponível em: <https://www.braziliannickel.com/wp-content/uploads/2017/09/BRN-PNP-Fact-Sheet-092017.pdf>. Acesso em 11 dez. 2018.

CANADIAN MINNING JOURNAL. Toronto: Canadian Mining Journal; 2005. Disponível em: <http://www.canadianminningjournal.com/news/feasibility-study-onca-puma-nickel-project/>. Acesso em 14 nov. 2018.

CAVALCANTI, J.A.D.; LACASSE, C.M.; SANTOS, R.V. Geoquímica das crostas cobaltíferas da elevação do rio grande. In: Sociedade Brasileira de Geoquímica. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Geoquímica, 2017, ago 23-27, Búzios, Brasil: SBG, 2017.

CENTAURUS METALS. West Perth-Austrália: Centarus Metals; 2018. Disponível em: http://www.centaurus.com.au/our-projects?project_id=9. Acesso em 13 nov. 2018.

CHILEAN COBALT CORP. Wayne, PA: Genlith Inc. 2018. Disponível em: <https://www.chileancobaltcorp.com/>. Acesso em 24 ago. 2018.

CIDADE VERDE. Disponível em <https://cidadeverde.com/noticias/300530/semar-promove-audiencia-publica-para-licenciamento-ambiental-da-empresa-piaui-niquel>. Acesso em 12 nov. 2019.

COBALT INSTITUTE. Disponível em <https://www.cobaltinstitute.org/production-and-supply.html>. Acesso em 18 nov. 2019.

CONEXÃO MINERAL. Disponível em: <http://www.conexaomineral.com.br/noticia/288/anglo-american-aumentou-producao-de-ferro-e-niquel-no-brasil.html>. Acesso em 12 nov.2019

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Brasília; 2017. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Brasil-vai-realizar-estudos-ambientais-na-Elevacao-do-Rio-Grande-4551.html>. Acesso em 05 set. 2018.

CRUNDWELL, F.K.; MOATS, M.S.; RAMACHANDRAN, V.; ROBINSON, T.G.; DAVENPORT, W.G. Extractive metallurgy of nickel, cobalt and platinum-group metals. 1st ed. Oxford: Elsevier, 2011.

DESAI, P. New York Times. New York: New York Times, 2018. Disponível em: <https://www.nytimes.com/reuters/2018/07/31/business/31reuters-cobalt-chemicals-prices.html>, Acesso em: 08/08/2018.

DOLANSKY, L.M. Montreal: McGill University, 2007. Disponível em: http://www.geotop.ca/pdf/Gestion_Documents/Memoires/Memoire_Lila_Dolansky.pdf. Acesso em 02 ago. 2018.

FELTER, C. New York: Council on Foreign Relations, 2018. Disponível em: <https://www.cfr.org/backgrounder/cobalt-boom>. Acesso em 01 ago. 2018.

FERREIRA FILHO, C.F.; CUNHA, J.C.; CUNHA, E.M.; CANELA, J.H.C. Depósito de níquel-cobre sulfetado de Santa Rita, Itagibá, Bahia, Brasil. Série Arquivos Abertos. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 2013, p. 39-59.

FISHER, K.G. Cobalt processing developments. In: Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Proceedings of the 6th Southern African Base Metals Conference, 2011 July. Phalaborwa, South Africa. Disponível em: <https://www.saimm.co.za/Conferences/BM2011/237-Fisher.pdf>. Acesso em 10 ago. 2018.

FONSECA, D.S. Cobalto Sumário Mineral 2010. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2010>. Acesso em 20 jul. 2018.

FONSECA, D.S. Cobalto – Sumário Mineral 2016. Brasília: DNPM; 2016. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2016>. Acesso em 20 jul. 2018.

GEORGIU, D.; PAPANGELAKIS, V.G. Sulphuric acid pressure leaching of a limonitic laterite: chemistry and kinetics. *Hydrometallurgy* 1998, 49: 23-46.

GRIFFON, J.C.; RICHTER, H. 1976. Geologia, mineração e tratamento do minério de níquel do Morro do Níquel. *Geologia e Metalurgia*, 40: 387-405.

HABASHI, F. *Textbook of Hydrometallurgy*, 2nd ed. Québec: Laval University, 1999.

HEIDER, M. Perspectivas do Cobalto. *Revista In the Mine*. 2018, 75: 10-12.

HORIZONTE MINERALS. London: Horizonte Minerals Disponível em: <http://horizonteminerals.com>. Acesso em 15 dez. 2018.

ISA – International Seabed Authority. Nature of the minerals-Polymetallic Nodules Kingston:ISA Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/isa.org/jm/s3fs-public/documents/EN/Brochures/ENG7.pdf>. Acesso em 12 dez. 2018.

KLEIN, E.L.; MATOS, D.R.; SANTOS, P.A. et al. 2018. Atlas of mineral deposits and selected mineral occurrences of continental Brazil. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/19032>. Acesso em 8 fev. 2019.

LIRA, S. Centaurus encontra alto teor de cobalto em projeto no PA. Revista Mineração e Sustentabilidade. Disponível em: <http://revistaminerao.com.br/2018/02/19/centaurus-encontra-alto-teor-de-cobalto-em-projeto-no-pa/>. Acesso em 13 nov. 2018.

LOMBRANA, L.M. UOL; 2018. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/bloomberg/2018/08/14/chile-reabriraminas-de-cobalto-para-atender-auge-de-baterias.htm>. Acesso em 24 ago. 2018.

MACKIW, V.N.; LIN, W.C; BENOIT, R.L.; BENZ, T.W. Nickel-cobalt separation at sherritt gordon. Journal of Metals. 1958, 10: 800-802.

MIRABELA NICKEL LIMITED. Quarterly Activity Report for the Period Ended 31 March. Perth: CISION; 2014. Disponível em: <https://www.newswire.ca/news-releases/mirabela-nickel-limited-administrators-appointed---quarterly-activity-report-for-the-period-ended-31-march-2014-514180241.html>. Acesso em 6 fev. 2019.

OLIVON, B. São Paulo: Revista Exame 2011. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/vale-inicia-sua-primeira-operacao-de-niquel-no-brasil/>. Acesso em 14 nov. 2018.

OUTOTEC. Nickel matte chloride leaching. Finland: Outokumpu, 2014. Disponível: <https://www.outotec.com/globalassets/newsletters/output/2014-3/nickel-matte-chloride-leaching.pdf>. Acesso em 7 jan. 2019.

PCTIME – Plano Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para Minerais Estratégicos. Brasília: MCTIC, 2018.

RUMBU, R. Extractive Metallurgy of Cobalt. 1st ed. USA: 2RA – Publishing, 2016.

SADOF, K.D.; MUCHA, L.; FRANKEL, T.C. Washington Post; 2018. Disponível em: https://www.washingtonpost.com/news/in-sight/wp/2018/02/28/the-cost-of-cobalt/?noredirect=on&utm_term=.da7edf9cbe93. Acesso em 08 ago. 2018.

SHEDD, K.B.; MCCULLOUGH, E.A.; BLEIWAS, D.I. Global trends affectig the supply: security of cobalt. *Minning Engineering Magazine*. 2017 USGS. December, 2017. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cobalt/cobalt-supply-security.pdf>. Acesso em 08 ago. 2018.

SHERMAN, N. New York: BBC News; 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-45019188>. Acesso em 08 ago. 2018.

SILVA, C.S. Níquel. In: Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. *Economia Mineral do Brasil*. 1ed. Brasília: DNPM; 2009.

USGS. USA; 2003. Disponível em: <https://thediggings.com/mines/usgs10110431>. Acesso em 08 ago. 2018.

USGS. Washington: USGS 2008 Morro Sem Bone. Disponível em: https://mrdata.usgs.gov/nicrpge/show-nicrpge.php?rec_id=12155916. Acesso em 17 dez. 2018.

USGS. Platinum – Group Metals Statistics and Information. USA: USGS; 2018. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/platinum/>. Acesso em 10 ago. 2018.

VELASCO, M. Votorantim anuncia suspensão de atividades em Niquelândia, GO. Goiás: G1; 2016 [atualizada em 19 jan.2016;]. Disponível em: <http://g1.globo.com/goias/noticia/2016/01/votoranti-manuncia-suspensao-de-atividades-em-niquelandia-go.html>. Acesso em 02 dez. 2016.

WARNER, A.E.M.; DÍAZ, C.M.; DALVI, A.D.; MACKEY, P.J.; TARASOV, A.V. JOM World Nonferrous Smelter Survey, Part III: Nickel: Laterite. *JOM-Journal of Metals*. 2006; 58: 11-20

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2018, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 340 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Estudos e Documentos

SED-99 – **A biohidrometalurgia e os minerais críticos**. Ellen Cristine Giese, 2019.

SED-98 – **Mineração, desenvolvimento sustentável e o mercado de Investimento Socialmente Responsável (ISR): um estudo sobre a participação da Vale no Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE)**. Ana Maria B. M. da Cunha, Gilse Barbosa Guedes e Márcia Viana de Sá Earp, 2019.

SED-97 – **Diretrizes básicas para avaliação da qualidade de resultados analíticos**. Jéssica Zickwolf Ramos, Líllian Maria Borges Domingos, Zuleica Carmen Castilhos, 2018.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3865-7222
Biblioteca: (21) 3865-7218
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 41 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.