12 – MINERAIS POLIMETÁLICOS

POLYMETALLIC MINERAL

Iran Carlos Stalliviere Corrêa
Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Lauro Júlio Calliari
Laboratório de Oceanografia Geológica
Universidade Federal do Rio Grande - FURG

In: MELLO, S. L. M.; CALLIARI, L. J.; HORN FILHO, N. O.; CORREA, I. C. S.; DIAS, M. S. (Orgs.). Recursos Minerais Marinhos. SBGf, PGGM. Rio de Janeiro. DOI: https://doi.org/10.22564/sbgfbook.cad5.2023.cap12

Resumo

A distribuição dos nódulos e das crostas polimetálicas ocorre sobre a maior parte do assoalho oceânico, em profundidades acima dos 4.000 m. Estes apresentam estratificações laminares, com espessuras que variam de milímetros a decímetros. Estima-se que estes depósitos de nódulos e crostas polimetálicas, cubram uma área de aproximadamente 6,4 x 106 km^2. Estes nódulos polimetálicos, são concreções rochosas formadas por camadas concêntricas de hidróxidos de ferro e manganês os quais se desenvolvem a partir de um núcleo o qual pode ser um fragmento de rocha, restos de origem biogênica como dentes de tubarão ou carapaças de organismos como os radiolários e até mesmo fragmentos de antigos nódulos. Em sua composição química, os nódulos polimetálicos possuem metais estratégicos como níquel, cobalto e cobre, bem como a presença de terras raras, metais amplamente utilizados hoje em dia para o desenvolvimento tecnológico e econômico dos países industrializados. No presente estudo demonstra-se do desenvolvimento desde nódulos e o valor estratégico e econômico de sua exploração. Estes depósitos apresentam um valor econômico de importância mundial devido aos inúmeros elementos químicos que formam sua composição.

Palavras-chave: nódulos polimetálicos, ocorrência de nódulos, formação de nódulos.

Abstract

The distribution of polymetallic nodules and crusts occurs over most of the ocean floor, at depths above 4,000 m. These have laminar stratifications, with thicknesses ranging from millimeters to decimeters. These deposits of polymetallic nodules and crusts are estimated to cover an area of approximately 6.4 x 106 km^2. These polymetallic nodules are rocky concretions formed by concentric layers of iron and manganese hydroxides which develop from a core which can be a fragment of rock, remains of biogenic origin such as shark teeth or shells of organisms such as radiolaria and even fragments of old nodules. In their chemical composition, polymetallic nodules have strategic metals such as nickel, cobalt and copper, as well as the presence of rare earths, metals widely used today for technological and economic development in industrialized countries. This study demonstrates the development of nodes and the strategic and economic value of their exploration. These deposits have an economic value of world importance due to the numerous chemical elements that make up their composition.

Keywords: polymetallic nodules, nodule occurrence, nodule formation.

Nota dos Organizadores: o manuscrito deste capítulo foi produzido em abril de 2022.

Referências Bibliográficas

ABOUCHAMI, W.; GALER, S.J.G.; KOSCHINSKY, A. 1999. Pb and Nd isotopes in NE Atlantic Fe–Mn crusts: proxies for trace metal paleosources and paleocean circulation. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63: 1489–1505. DOI: 10.1016/S0016-7037(99)00068-X.

ATMANAND, M.A.; MORGAN, C.; SCOTT, S. 2006. Manganese Nodules. *In*: SCOTT, S.D. (Ed.). Mineral Deposits in the Sea: A Future Resource. Report of the ECOR Specialist Panel on Marine Mining. ECOR Symposium, March/2006, p. 4–7.

BAU, M.; KOSCHINSKY A. 2009. Oxidative scavenging of cerium on hydrous Fe oxide: evidence from the distribution of rare earth elements and yttrium between Fe oxides and Mn oxides in hydrogenetic ferromanganese crusts. Geochemical Journal, 43: 37–47. DOI: 10.2343/geochemj.1.0005.

BAU, M.; SCHMIDT, K.; KOCHINSKY, A.; HEIN, J.; KUHN, T.; USUI, A. 2014. Discriminating between different genetic types of marine ferro-manganese crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium. Chemical Geology, 381: 1–9. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2014.05.004.

BLUMER, M. 1950. Die Existensgrenzen anorganischer Ionen bei der Bildung von Sedimentgesteinen. Geochemische Untersuchungen IV. Helvetica Chimica Acta, Bern, 33(6): 1568–1581. DOI: 10.1002/hlca.19500330625.

BONATTI, E.; NAYUDU, Y.R. 1965. The origin of manganese nodules on the ocean floor. American Journal of Science, New Haven, 263: 17–39. DOI: 10.2475/ajs.263.1.17.

BONATTI, E.; JOENSUU, O.; WANLESS, H. 1972. Geological observations in the submarine Caldera of Santorini (Aegean Sea). Rapp. Comm. Int. Mer Médit., 20(4): 569–570.

BOSTRÖM, K.; KRAEMER, T.; GARTNER, S. 1973. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni and Co in Pacific pelagic sediments. Chemical Geology, Amsterdam, 11: 123–148. DOI: 10.1016/0009-2541(73)90049-1.

BROCKETT, T. 1999. Nodule collector subsystems, *In*: Workshop on Proposed Technologies for Deep Seabed Mining of Polymetallic Nodules. International Seabed Authority. Kingston, Jamaica. p. 67–93.

BURNS, R.G. 1975. Mechanism for nucleation and growth of manganese nodules. Nature, 225(5504): 130–131. DOI: 10.1038/255130A0.

CARRANZA-EDWARDS A.; ROSALES-HOZ, L.; VILLASEÑOR-CABRAL, G.; LOZANO, R.; HORNELAS-OROZCO, Y. 1986. Sulfuros metálicos submarinos de la Península de Baja California. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 17(2): 287–298.

CARRANZA-EDWARDS, A.; ROSALES-HOZ, L.; AGUAYO-CAMARGO, J.E.; LOZANO-SANTA CRUZ, R.; HORNELAS-OROZCO, Y. 1990. Geochemical study of hidrothermal core sediments and rocks from the Guaymas Basin, Gulf of California. Applied Geochemistry, 5(1/2): 77–82. DOI: 10.1016/0883-2927(90)90038-7.

CAVALCANTI, V.M.M. 2011. Plataforma Continental a última fronteira da mineração brasileira. Ministério de Minas e Energia, DNPM. Brasília. 104 p.

CHESTER, R.; HUGHES, M.J. 1969. The trace element geochemistry of a North Pacific pelagic clay core. Deep-Sea Research, 16: 639–654. DOI: 10.1016/0011-7471(69)90064-3.

CHOW, T.I.; PATTERSON, C.C. 1959. Sub-surface concentration of manganese nodules in Pacific Sediments. Deep Sea Research, 14: 117–119.

CLAUDE, C.; SUHR, G.; HOFMANN, A.W.; KOSCHINSKY, A. 2005. U–Th chronology and paleoceanographic record in Fe–Mn crusts from the NE Atlantic over the last 700 ka. Geochimica et Cosmochimica Acta, 69(20): 4845–4854. DOI: 10.1016/j.gca.2005.05.016.

CORRENS, C.W. 1941. Beiträge zur Geochemie des Eisens und Mangans. Narchr. Akad. Wiss. Math-Physik, Gottingen, 5: 219–230.

CRERAR, D. A.; NAMSON, J.; CHYI, M. S.; WILLIAMS, L.; FEIGENSON, M. D. 1982. Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage; I, General geology, ancient and modern analogues, and implications for hydrothermal convection at oceanic spreading centers. Economic Geology, 77(3): 519–540. DOI: 10.2113/gsecongeo.77.3.519.

CRONAN, D.S. 1972. Composition of Atlantic manganese nodules. Nature, 235(61): 171–172. DOI: 10.1038/physci235171a0.

CRONAN, D.S. 1977. Deep-sea nodules: Distribution and Geochemistry. *In*: GLASBY, G.P. (Ed.). Marine Manganese Deposits. Elsevier Oceanography Series, v. 15, cap. 2. p. 11–44. DOI: 10.1016/S0422-9894(08)71016-X.

CRONAN, D.S. 2010. Manganese Nodules. *In*: TUREKIAN, K. (Ed.). Marine Chemistry and Geochemistry, Encyclopedia of Ocean Sciences, 2a ed., 631 p.

CRONAN, D.S.; TOOMS, J.S. 1967. Sub-surface concentrations of manganese nodules in Pacific sediments. Deep-Sea Research, 14: 117–119. DOI: 10.1016/0011-7471(67)90034-4.

CUI, Y.; LIU, J.; REN, X.; SHI, X. 2009. Geochemistry of rare earth elements in cobalt-rich crusts from the Mid-Pacific M seamount. Journal of Rare Earths, 27(1): 169–176. DOI: 10.1016/S1002-0721(08)60214-8.

EHRLICH, H.L. 1968. Bacteriology of manganese nodules: II. Manganese oxidation by cell-free extract from a manganese nodule bacterium. Applied Microbiology, 16: 197–202. DOI: 10.1128/am.16.2.197-202.1968.

EHRLICH, H.L. 1971. Bacteriology of manganese nodules: V. Effect of hydrostatic pressure on bacterial oxidation of Mn^{II} and reduction of MnO_2. Applied Microbiology, 21: 306–310. DOI: 10.1128/am.21.2.306-310.1971.

ELDERFIELD H.; WHITFIELD M.; BURTON D.J.; BACON P.M.; LISS S.P. 1988. The oceanic chemistry of the rare-earth elements [and discussion]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences, 325(1583): 105–126. DOI: 10.1098/rsta.1988.0046.

EL WAKEEL, S.K.; RILEY, J.P. 1961. Chemical and mineralogical studies of deep-sea sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta, 25(2): 110–146. DOI: 10.1016/0016-7037(61)90128-4.

EWING, M.; HORN, D.; SULLIVAN, L.; AITKEN, T.; THORNDIKE, E. 1971, Photographing manganese nodules on the ocean floor, Oceanol. Intl., Beverly Sh., December, p. 26-32.

FRANCHETEAU, J.; NEEDHAM, H.; CHOUKROUNE, P.; JUTEAU, T.; SÉGURET, M.; BALLARD, R.D.; FOX, P.J.; NORMARK, W.; CARRAZA, A.; CORDOBA, D.; GUERRERO, J.; RANGIN, C.; BOUGAULT, H.; CAMBON, P.; HEKINIAN, R. 1979. Massive deep-sea sulphide ore deposits discovered on the East Pacific Rise. Nature, 277: 523–528. DOI: 10.1038/277523a0.

GLASBY, G.P. 1972. The mineralogy of manganese nodules from a range of marine environments. Marine Geology, 13(1): 57–72. DOI: 10.1016/0025-3227(72)90071-0.

GOLDBERG, E.D. 1954. Marine geochemistry 1. Chemical scavengers of the sea. Journal of Geology, 62: 249–265. DOI: 10.1086/626161.

GONZALEZ, M. 2018a. Manganês: aplicações, reserva e produção. https://www.notasgeo.com.br/2018/10/manganes-aplicacoes-reservas-e-producao.html

GONZALEZ, M. 2018b. Níquel: aplicações, reserva e produção. https://www.notasgeo.com.br/2018/04/niquel-aplicacoes-reservas-e-producao.html#more

GONZALEZ, M. 2019. Cobre: aplicações, reserva e produção. https://www.notasgeo.com.br/2019/09/cobre-aplicacoes-reservas-e-producao.html#more

HALEY, B.A.; KINKHAMMER, G.P.; McMANUS, J. 2004. Rare earth elements in pore waters of marine sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta, 68(6): 1265–1279. DOI: 10.1016/j.gca.2003.09.012.

HARRISS, R.C.; CROCKET, J.H.; STAINTON, M. 1968. Palladium, iridium and gold in deep-sea manganese nodules. Geochimica et Cosmochimica Acta, 32(10): 1049–1056. DOI: 10.1016/0016-7037(68)90107-5.

HEIN, J.R. 2004. Cobalt-rich ferromanganese crusts: Global distribution, composition, origin and research activities. *In*: Minerals other thanpolymetallic nodules of the International Seabed Area. Proceedings of a workshop held on 26-30 June 2000, International Seabed Authority, Kingston, Jamaica, 1: 188–256.

HEIN, J.R.; BOHRSON, W.A.; SCHULZ, M.S.; NOBLE, M.; CLAGUE, D.A. 1992. Variations in the fine-scale composition of a central Pacific ferro-manganese crust: paleoceanographic implications. Paleoceanography, 7: 63–77. DOI: 10.1029/91PA02936.

HEIN, J.R.; KOSCHINSKY, A.; HALBACH, P.; MANHEIM, F.T.; BAU, M.; KANG, J.-K.; LUBICK, N. 1997. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. *In*: NICHOLSON, K., HEIN, J.R., BŰHN, B., DASGUPTA, S. (Eds.). Manganese mineralization: geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits. Geological Society of London, Special Publication, 119(1): 123–138. DOI: 10.1144/GSL.SP.1997.119.01.09.

HEIN, J.R.; KOSCHINSKY, A.; BAU, M.; MANHEIM, F.T.; KANG, J.-K.; ROBERTS, L. 2000. Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts in the Pacific. *In*: CRONAN, D.S. (Ed.). Handbook of Marine Mineral Deposits. CRC Press, cap. 9. 239–279. DOI: 10.1201/9780203752760-9.

HEIN, J.R.; MIZELL, K.; KOSCHINSKY, A.; CONRAD, T.A. 2013. Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: comparison with land-based resources. Ore Geology Reviews, 51(1): 1–14. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2012.12.001.

HEWETT, D.F.; FLEISCHER M.; CONKLIN N. 1963. Deposits of manganese oxides. Economic Geology, 58: 1–51. DOI: 10.2113/gsecongeo.58.1.1.

HORN, D.R.; DELACH, M.N.; HORN, B.M. 1973a. Ocean manganese nodules, metal values, and mining sites. National Science Foundation Technology. Rept. 4.

KASTEN, S.; FREUDENTHAL, T.; GINGELE, F.X.; SCHULZ, H.D. 1998. Simultaneous formation of iron-rich layers at different redox boundaries in sediments of the Amazon deep-sea fan. Geochimica et Cosmochimica Acta, 62(13): 2253–2264. DOI: 10.1016/S0016-7037(98)00093-3.

KERL, J.F. 1970. Eigenschaften, Vorkommen und Entstehung von Nickel, Kupfer und Kobalthaltingen Manganknollen des Meerresbodens. Erzmetall, Stuttgart, 23: 1–10.

MARCHANDISE, H. 1956. Contribution à l'étude des gisements de manganése sédimentaires. *In*: Congrès Géologique International, 20. México. 1: 107–118.

MARINO, E.; BLASCO, I.; BLANCO, L.; GONZÁLEZ, F.J.; SOMOZA, L.; MEDIALDEA, T. 2017. Llega la era de la Minería Submarina. Tierra y Tecnología, 49. DOI: 10.21028/em.2017.05.12.

MARTÍNEZ FRÍAS, J.; LUNAR, R. 1992. Mineralizaciones hidrotermales submarinas. Mundo Científico, 128(12): 808–815.

MELO, U.; GUAZELLI, W. 1976. Nódulos Polimetálicos, Importância e Tendências. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, Petrobras. 53 p.

MENARD, H.W. 1964. Marine Geology of the Pacific. New York, McGraw-Hill, 271 p.

MERO, I.L. 1965. The mineral resources of the sea. Amsterdam, Elsevier, 312 p.

MILLER, K.A.; THOMPSON, K.F.; JOHNSTON, P.; SANTILLO, D. 2018. An Overview of Seabed Mining Including the Current State of Development, Environmental Impacts, and Knowledge Gaps. Frontiers in Marine Science. DOI: 10.3389/fmars.2017.00418

MOFFETT, J.W. 1990. Microbially mediated cerium oxidation in sea water. Nature, 345(6274): 421–423. DOI: 10.1038/345421a0.

MONTY, M.C. 1973. Les nodules de manganèse sont des stromatolithes océaniques. C. R. Acad. Sci. Paris, Série D 276: 2385–2388.

MORGAN, C.L. 2000. Resource Estimates of the Clarion-Clipperton Manganese Nodule Deposits. *In*: CRONAN, D. S. (Ed.). Handbook of Marine Mineral Deposits. CRC Press, cap. 6, 145–170. DOI: 10.1201/9780203752760-6.

MURRAY, J. 1878. On the distribution of volcanic debris over the seafloor of the oceans, its character, source and some of the products of its disintegration and decomposition. Proceedings Royal Society of Edinburgh, 9: 247–261. DOI: 10.1017/S0370164600032181.

MURRAY, J.; RENARD A.F. 1891. Deep sea deposits. HMSO. Rep. Sci. Results Explor. Voyage HMS Challenger, 1873–1876, 525 p.

MURRAY, J.; IRVINE, R. 1895. On the manganese oxides and manganese nodules in marine deposits. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 37: 721–742. DOI: 10.1017/S0080456800032816.

NATH, B.B.; PLUGER W.L.; ROELANDTS I. 1997. Geochemical constraints on the hydrothermal origin of ferromanganese incrustations from the Rodriguez Triple Junction, Indian Ocean. *In*: NICHOLSON, K.; HEIN, J.R.; BÜHN, B.; DASGUPTA, S. (Eds.), Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits. Geological Society of London, Special Publication, 119(1): 199–221. DOI: 10.1144/GSL.SP.1997.119.01.13.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. 2015. Controle de informações georreferenciadas sobre continentes e oceanos. Disponível em https://www.noa.gov/ocean.html. Acesso: 28 nov. 2020.

NORDENSKJOLD, A.E. 1881. The Voyage of the Vega Round Asia and Europe. Londres: Macmillan, p. 521.

PALMA J.J.C.; PESSANHA I.B.M. 2000. Depósitos ferromanganesíferos de oceano profundo. Revista Brasileira de Geofísica, 18(3): 433–446. DOI: 10.1590/S0102-261X2000000300015.

PAOLIELLO, M.M.B.; CHASIN, A.A.M. 2001. Ecotoxicologia do Chumbo e seus Compostos. Centro de Recursos Ambientais – CRA, Salvador: Bahia. Série Cadernos de Referência Ambiental, vol.3. 144 p.

PEACOCK, T.; ALFORD, M.H. 2018. Is Deep-sea Mining Worth it? Scientific American, May 2018. p. 72–77. DOI: 10.1038/scientificamerican0518-72.

PRICE, N.B.; CALVERT, S. E. 1970. Compositional variation in Pacific Ocean ferromanganese nodules and its relationship to sediment accumulation rates. Marine Geology, Amsterdam, 9(3): 145–171. DOI: 10.1016/0025-3227(70)90012-5.

RONA, P.A. 2002. Marine minerals for the 21st century. Episodes, 25(1): 2–12. DOI: 10.18814/epiiugs/2002/v25i1/001.

RONA, P.A. 2008. The changing vision of marine minerals. Ore Geology Reviews, 33: 618–666. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2007.03.006.

SANTANA, C. I. 1999. Mineral resources of the Brazilian continental margin and adjacent oceanic regions. *In*: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Eds.). Non-living resources of the southern Brazilian coastal zone and continental margin. OAS/IOC-UNESCO/MCT, Special Publication, Porto Alegre. p. 15–25.

SCHULZ, H.D.; ZABEL, M. (Eds.). 2006. Marine Geochemistry. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/3-540-32144-6.

SKORNYAKOVA, N. S.; ANDRUSHCHENKO, P.F.; FOMINA, L.S. 1964. Chemical composition of the Pacific Oceans iron-manganese concentrations. Deep Sea Research, 11(1): 93–104. DOI: 10.1016/0011-7471(64)91086-1.

STEVENSON, J.S.; STEVENSON, L.S. 1970. Manganese nodules from the Challenger Expedition at Rajpath Museum. Canadian Mineralogist, Ottawa, 10: 599–615. Disponível em: https://doi.pangaea.de/10013/epic.45948.d001.

TORO, N.; JELDRES, R.I.; ÓRDENES, J.A.; ROBLES, P.; NAVARRA, A. 2020. Manganese Nodules in Chile, an Alternative for the Production of Co and Mn in the Future — A Review. Minerals, 10(8): 1–19. DOI: 10.3390/min10080674

TOTH, J.R. 1980. Deposition of submarine crust rich in manganese and iron. Geological Society of America. GSA Bulletin, 91(1): 44–54. DOI: 10.1130/0016-7606(1980)91<44:DOSCRI>2.0.CO;2.

VERESHCHAGIN, O.S.; PEROVA, E.N.; BRUSNITSYN, A.I.; ERSHOVA, V.B.; KHUDOLEY, A.K.; SHILOVSKIKH, V.V.; MOLCHANOVA, E.V. 2019. Ferro-manganese nodules from the Kara Sea: Mineralogy, geochemistry and genesis. Ore Geology Reviews. 106: 192–204. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.01.023.

von STACKELBERG, U. 2000. Manganese Nodules of the Peru Basin. *In*: CRONAN, D. S. (Ed.). Handbook of Marine Mineral Deposits. CRC Press, cap. 8, 197–238. DOI: 10.1201/9780203752760-8.

WEDEPHOL, K.H. 1960. Spurenanalytische Untersuchungen an Tiefseetonen aus dem Atlantik: Ein Beitrag zur Deutung der geochemischen Sonderstellung von pelagischen Tonen. Geochimica et Cosmochimica Acta, 18: 200–231. DOI: 10.1016/0016-7037(60)90088-0.

XAVIER, A. 1976. The exploitation of deep-sea manganese nodules; progress and prospects. Maritime Policy & Management, 4: 33–40. DOI: 10.1080/03088837600000035.

Sobre os Autores

Iran Carlos Stalliviere Corrêa

Geólogo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), mestre em Geologia Marinha pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Especialização em Sensoriamento Remoto Aplicado à Oceanografia,

pelo Départemet d'Océanologie de l'Université de Bordeaux I (França) e doutor em Oceanologia pela Université de Bordeaux I (França). Professor Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Representante da UFRGS junto ao Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM).

E-mail: iran.correa@ufrgs.br

ORCID: 0000-0003-4388-9770

Lauro Júlio Calliari

Oceanólogo pela Universidade Federal de Rio Grande (FURG), mestre pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e PhD em Ciências Marinhas pelo Virginia Institute of Marine Science (VIMS/EUA). Professor titular e colaborador do curso de pós-graduação em Oceanologia do Instituto de Oceanografia da FURG (IO-FURG). Representante da FURG junto ao Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM).

E-mail: calliarilauro@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5503-8300