

## 4 – EVAPORITOS

### EVAPORITES

**Maria Augusta Martins da Silva**

*Departamento de Geologia e Geofísica  
Universidade Federal Fluminense - UFF*

**Flávio Zaborne Oliver**

*Exploration & Production International-Subsurface  
Equinor*

**Lauro Júlio Calliari**

*Laboratório de Oceanografia Geológica  
Universidade Federal do Rio Grande - FURG*

**Tim Lowenstein**

*Department of Geological Sciences and Environmental Studies  
Binghamton University*

*In memoriam Dr. B. Charlotte Schreiber*

### Resumo

Evaporitos são rochas sedimentares formadas por sais de grande valor econômico. Bacias sedimentares com sequências de evaporitos de mais de 1 quilômetro de espessura, com idades que vão do Proterozoico até os dias atuais, fornecem diversos tipos de sais, tais como a halita o sal mais explorado comercialmente e utilizado para o consumo humano desde a antiguidade, a gipsita e a anidrita, sais de potássio como a silvita, entre dezenas de minerais evaporíticos marinhos que se constituem em matéria-prima para os mais diversos fins (fertilizantes, material de construção, etc.). Além disso, ambientes evaporíticos são propícios ao acúmulo de matéria orgânica com potencial para a geração de petróleo. Os evaporitos podem também ser selantes para a formação dos reservatórios de petróleo em especial quando ocorrem na forma de domos e diápiros de sal. No ambiente marinho, os evaporitos podem se formar na região costeira, em planícies de sal (ou sabkhas), lagunas e salinas, bem como em ambientes marinhos rasos e de águas mais profundas. Morfologias e estruturas sedimentares caracterizam as fácies dos sais nesses ambientes e fornecem evidências para o reconhecimento paleoambiental e modos de formação e evolução das sequências evaporíticas. Alguns depósitos comercialmente explorados são aqui apresentados: a gipsita do Lago MacDonnell, no sul da Austrália, formada pela inundação da região costeira em consequência da subida do nível do mar no Holoceno; a halita extraída de diversas minas da Bacia do Zechstein (Europa), um enorme graben Permiano ocupado por uma bacia marinha com ambientes de plataforma e águas profundas; a silvita extraída da mina de Taquari-Vassouras a partir da sequência evaporítica do Cretáceo da Bacia de Sergipe formada durante a fase inicial de abertura do Oceano Atlântico Sul.

**Palavras-chave:** sabkha, salinas, evaporitos de água rasa, evaporitos de águas profundas, Lago MacDonnell, Bacia de Sergipe, Bacia de Zechstein.

**Abstract**

Evaporites are sedimentary rocks formed by salts of great economic value. Sedimentary basins containing thick sequences of evaporites (1 km or more), from the Proterozoic to the present day, provide salts such as halite, gypsum, anhydrite and potash salts such as sylvite, among a dozen of other marine salts, which are feedstocks for many purposes (human and animal consumption, fertilizers, construction material, etc.). In addition to that, evaporitic environments are favorable to organic matter accumulation with potential for oil generation. The evaporites can also be seals for oil reservoirs, in special when in the form of domes and salt diapirs. Evaporites in the marine environment appear along the coastal region on salt plains or sabkhas, lagoons and salinas, as well as in shallow and deeper waters. Morphologies and sedimentary structures characterize the salt facies formed in such settings and provide evidence for the paleoenvironmental recognition, mechanisms of salt formation and of economic deposits. Some of the world's commercial deposits are described here: the gypsum deposit of the Lake MacDonnell, south of Australia, formed by coastal flooding during the Holocene sea-level rise; the halite extracted from mines in the Zechstein Basin, northern Europe, an enormous graben occupied by a marine basin with well-developed platform – deep basin in the Permian; sylvinitic mined from Taquari-Vassouras which belongs to Sergipe Basin where a Cretaceous evaporite sequence represent the initial stage of formation of the South Atlantic Ocean.

**Keywords:** sabkha, salina, shallow/deep waters; Lake MacDonnell, Zechstein Basin, Sergipe Basin.

Esta é uma visualização. O conteúdo exibido é limitado.

**Referências Bibliográficas**

ARAÚJO, C. C.; MORETTI, P.A.; MADRUCCI, V.; CAMARRAL, N. G.; TOCZECK, A.; ALMEIDA, A. B. 2009. Carbonatos aptianos do Campo de Carmópolis, Bacia de Sergipe-Alagoas: estratigrafia e modelo deposicional. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 17(2): 311–330.

CASAS, E.; LOWENSTEIN, T. K.; SPENCER, R. J.; PENGXI Z. 1992. Carnallite mineralization in the nonmarine Qaidam Basin, China: evidence for the early diagenetic origin of potash evaporites. *Journal of Sedimentary Research*, 62(5): 881–898. DOI: [10.1306/D4267A05-2B26-11D7-8648000102C1865D](https://doi.org/10.1306/D4267A05-2B26-11D7-8648000102C1865D).

CAVALCANTI, V. M. M. 2011. Plataforma Continental. A última fronteira da mineração brasileira. Ministério de Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral. Diretoria de Planejamento e Desenvolvimento da Mineração. Programa de Avaliação de distritos Mineiros. DNPM. 96 p.

CURTIS, R.; EVANS, G.; KINSMAN, D. J. J.; SHEARMAN, D. J. 1963. Association of dolomite and anhydrite in the recent sediments of the Persian Gulf. *Nature*, 197: 679–680. DOI: [10.1038/197679a0](https://doi.org/10.1038/197679a0).

- DEMICCO, R. V.; LOWENSTEIN, T. K.; HARDIE, L. A.; SPENCER R.J. 2005. Model of Seawater Composition for the Phanerozoic. *Geology*, 33(11): 877–880. DOI: [10.1130/G21945.1](https://doi.org/10.1130/G21945.1).
- DNPM. 2011. Sumário Mineral / Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, coordenação Sumário Mineral – Brasília, 20. 128p.
- EVANS, R.; KIRKLAND, DIW. 1988. Evaporitic environments as a source for petroleum. *In*: Schreiber, B.C. (Ed). *Evaporites and Hydrocarbons*. Columbia University Press. New York. 475p. ISBN 0-231-06530-2.
- EARNEY, F. C. F. 1990. *Marine Mineral Resources*. Ocean Management and Policy Series. Routledge, Londres, 387 p.
- FEELY, H. W.; KULP, J. L. 1957. Origin of Gulf Coast salt-dome sulphur deposits. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, AAPG Bulletin, 41(8): 1802–1853. DOI: <https://doi.org/10.1306/0BDA5939-16BD-11D7-8645000102C1865D>
- FLORENCIO, C. P. 2008. A Mineração de Evaporitos. *In*: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; ANJOS, S. M. C. (Orgs.). *Sal, Geologia e Tectônica. Exemplos nas Bacias Brasileiras*. Editora Beca. p. 406–415. ISBN 978-85-87256-49-2.
- HANDFORD, C. R. 1990. Halite depositional facies in a solar pond: A key to interpreting physical energy and water depth in ancient deposits? *Geology*, 18(8): 691–694. DOI: [10.1130/0091-7613\(1990\)018%3C0691:HDFIAS%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1990)018%3C0691:HDFIAS%3E2.3.CO;2).
- HARDIE, L. A. 1996. Secular variation in seawater chemistry: An explanation for the coupled secular variation in the mineralogies of marine limestones and potash evaporites over the past 600 m.y. *Geology*, 24(3): 279–283. DOI: [10.1130/0091-7613\(1996\)024%3C0279:SVISCA%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1996)024%3C0279:SVISCA%3E2.3.CO;2).
- HARDIE, L. A.; LOWENSTEIN, T. K.; SPENCER, R. J. 1985 The problem of distinguishing between primary and secondary features in evaporites. *In*: SCHREIBER, B. C.; HARNER, H. L. (Eds.). *Sixth International Symposium on Salt*, Salt Institute, Alexandria, VA, p. 11–39.
- HOLT, N. M.; GARCÍA-VEIGAS, J.; LOWENSTEIN, T. K.; GILES, P. S.; WILLIAMS-STROUD, S. 2014. The Major-Ion Composition of Carboniferous Seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 134: 317–334. DOI: [10.1016/j.gca.2014.03.009](https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.03.009).
- HORITA, J.; ZIMMERMANN, H.; HOLLAND, H. D. 2002. Chemical evolution of seawater during the Phanerozoic: Implications from the record of marine evaporites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(21): 3733–3756.
- KENDALL, A. C. 1984. Evaporites. *In*: WALKER, R.G. (Ed.) *Facies Models*. 2a ed. Geoscience Canada Reprint Series 1, cap.17, p. 259–296.
- KENDALL, A. C.; WARREN, J. K. 1988. Peritidal Evaporites and Their Sedimentary Assemblages. *In*: SCHREIBER, B. C. (Ed.). *Evaporites and Hydrocarbons*. Columbia University Press, 473p. ISBN 0-231-06530-2.
- KENDALL, A. C.; HARWOOD, G. M. 1996. Marine Evaporites: arid shorelines and basins. *In*: READING, H. G. (Ed.). *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science. 688p. ISBN 0-632-03627-3.
- KIRKLAND, D. W.; EVANS, R. 1981. Source-rock potential of evaporitic environment. *American Association of Petroleum Geologists*, AAPG Bulletin, 65(2): 181–190. DOI: [10.1306/2F91979C-16CE-11D7-8645000102C1865D](https://doi.org/10.1306/2F91979C-16CE-11D7-8645000102C1865D).
- LOWENSTEIN, T. K. 1988. Origin of depositional cycles in a Permian "saline giant": The Salado (McNutt Zone) evaporites of New Mexico and Texas. *Geological Society of*

America. GSA Bulletin, 100: 592–608. DOI: [10.1130/0016-7606\(1988\)100%3C0592:OODCIA%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1988)100%3C0592:OODCIA%3E2.3.CO;2).

LOWENSTEIN, T. K.; SPENCER, R. J. 1990. Syndepositional origin of potash evaporites: petrographic and fluid inclusion evidence. *American Journal of Science*, 290(1): 1-42. DOI: [10.2475/ajs.290.1.1](https://doi.org/10.2475/ajs.290.1.1).

LOWENSTEIN, T. K.; SPENCER, R. J.; PENGXI Z. 1989. Origin of ancient potash evaporites: clues from the modern nonmarine Qaidam Basin of western China. *Science*, 245(4922): 1090–1092. DOI: [10.1126/science.245.4922.1090](https://doi.org/10.1126/science.245.4922.1090).

LOWENSTEIN, T. K.; TIMOFEEFF, M. N.; BRENNAN, S. T.; HARDIE, L. A.; DEMICCO, R. V. 2001. Oscillations in Phanerozoic Seawater Chemistry: Evidence from Fluid Inclusions. *Science*, 294(5544): 1086–1088. DOI: [10.1126/science.1064280](https://doi.org/10.1126/science.1064280).

LOWENSTEIN, T. K.; HARDIE, L. A.; TIMOFEEFF, M. N.; DEMICCO, R. V. 2003. Secular Variation in Seawater Chemistry and the Origin of Calcium Chloride Basinal Brines. *Geology*, 31(10): 857–860. DOI: [10.1130/G19728R.1](https://doi.org/10.1130/G19728R.1).

LOWENSTEIN, T. K.; WELDEGHEBRIEL, M. F.; SIROTA, I.; EYAL, H.; MOR, Z.; LENSKY, N. G. 2021. Criteria for the recognition of clastic halite: The modern Dead Sea shoreline. *Sedimentology*, 68: 2253–2269. DOI: [10.1111/sed.12907](https://doi.org/10.1111/sed.12907).

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (Eds.). 2008. Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações. 2ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990p. ISBN 978-85-61121-37-2.

MACHADO, M. A. P. 2018. Pré-Sal: A Saga. L&PM, 218p. ISBN 978-85-254-3777-8.

MARTINS, L. R. S.; SOUZA, K. G. 2007. Ocorrência de Recursos Minerais na Plataforma Continental Brasileira e Áreas oceânicas adjacentes. *Revista Parcerias Estratégicas*, 24: 137–190.

MOHRIAK, W.; SZATMARI, P. 2008. Introdução às propriedades químicas e físicas dos evaporitos. *In: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; ANJOS, S. M. C. (Orgs.). Sal, Geologia e Tectônica. Exemplos nas Bacias Brasileiras. Editora Beca. p. 18–41. ISBN 978-85-87256-49-2.*

MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; ANJOS, S. M. C. 2008. Sedimentação de Evaporitos. *In: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; ANJOS, S. M. C. (Orgs.). Sal, Geologia e Tectônica. Exemplos nas Bacias Brasileiras. Editora Beca. p. 66–91. ISBN 978-85-87256-49-2.*

OLIVER, F. Z. 1997. Sequência Evaporítica Ibura da Bacia de Sergipe, Revisão de Fácies Sedimentares, Paleoambientes Depositionais e Potencialidades na Geração de Petróleo. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da UFF, 145p.

READING, H. G. 1996. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science. 688p. ISBN 0-632-03627-3

ROCHA, J. M. 1973. Domos de sal e possibilidades de enxofre, Plataforma continental da Bahia Sul/Espírito Santo. Projeto REMAC, 92 p. Relatório interno, Rio de Janeiro, Brasil.

ROCHA, J. M. 1975. Recursos Minerais do Mar: Recursos Subsuperficiais. Projeto REMAC, 23 p. Relatório interno, Rio de Janeiro, Brasil.

RYAN, W. B. F.; CITA, M. B.; RAWSON, M. D.; BURKCLE, L. H.; SAITO, T. 1974. A paleomagnetic assignment of Neogene stage boundaries and the development of isochronous datum planes between the Mediterranean, the Pacific, and Indian Oceans in order to investigate the responsive of the world oceans to the Mediterranean “Salinity Crisis”. *In: SCHREIBER, B. C. (Ed.). Evaporites and Hydrocarbons. Columbia University Press, 473p. ISBN 0-231-0653-2.*

- SANDGERG, P. A. 1983. An oscillating trend in Phanerozoic non-skeletal carbonate mineralogy. *Nature*, 305: 19–22. DOI: [10.1038/305019a0](https://doi.org/10.1038/305019a0).
- SCHREIBER, B. C. 1986. Arid shorelines and evaporites. *In*: READING, H. G. *Sedimentary Environments and facies*. 2a ed., Blackwell Scientific Publishers. 615p. ISBN 0632012234.
- SCHREIBER, B. C. 1988. Subaqueous Evaporite Deposition. *In*: SCHREIBER, B. C. (Ed.) *Evaporites and Hydrocarbons*. Columbia University Press, 473p. ISBN 0-231-06530-2.
- SCHREIBER, B. C.; SCHREIBER, E. 1977. The salt that was. *Geology*, 5(9): 527–528. DOI: [10.1130/0091-7613\(1977\)5%3C527:TSTW%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1977)5%3C527:TSTW%3E2.0.CO;2).
- SCHREIBER, B.C.; PHILP, R. P.; BENALI, S.; HELMAN, M. L.; DE LA PEÑA, J.A.; MARFIL, R.; LANDAIS, P.; COHEN, A. D.; KENDALL, C. G. St. C. 2001. Characterisation of Organic Matter Formed in Hypersaline Carbonate/Evaporite Environments: Hydrocarbon Potential and Biomarkers obtained through Artificial Maturation Studies. *Journal of Petroleum Geology*, 24(3): 309–338. DOI: [10.1111/j.1747-5457.2001.tb00677.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2001.tb00677.x).
- SILVA, M. A. M. da; SANTOS, C. L. dos. 1997. Halitas das Salinas de Cabo Frio: Reconhecimento das Morfologias como Subsídio para o Entendimento de Halitas Pretéritas. *Boletim Geociências Petrobras*, 11(1/2): 74–83.
- SILVA, M. A. M. da; SCHREIBER, B. C.; SANTOS, C.L. dos. 2000. Evaporitos como Recursos Minerais. *In*: MELLO, S.; PALMA, J. (Eds.). *Geologia e Geofísica na Exploração de Recursos Minerais Marinhos*. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3): 337–350. DOI: [10.1590/S0102-261X2000000300011](https://doi.org/10.1590/S0102-261X2000000300011).
- SIROTA, I.; ENZEL, Y.; LENSKEY, N. G. 2017. Temperature seasonality control on modern halite layers in the Dead Sea: In situ observations. *Geological Society of America. GSA Bulletin*, 129(9-10): 1181–1194. DOI: [10.1130/B31661.1](https://doi.org/10.1130/B31661.1).
- SIROTA, I.; YEHOUDA, E.; ZIV, M.; MOSHE, L. B.; EYAL, H.; LOWESTEIN, T.; NADAV, L. G. 2020a. Sedimentology and stratigraphy of a modern halite sequence formed under Dead Sea level fall. *Sedimentology*, 68(3): 1069–1090. DOI: [10.1111/sed.12814](https://doi.org/10.1111/sed.12814)
- SIROTA, I.; OUILLO, R.; MOR, Z.; MEIBURG, E.; ENZEL, Y.; ARNON, A.; LENSKEY, N. G. 2020b. Hydroclimatic Controls on Salt Fluxes and Halite Deposition in the Dead Sea and the shaping of “Salt Giants”. *Geophysical Research Letters*, 47(22): e2020GL090836. DOI: [10.1029/2020GL090836](https://doi.org/10.1029/2020GL090836)
- SOUZA, K. G.; MARTINS, L. R.; CAVALCANTI, V. M.; PEREIRA, C. V.; BORGES, L. F. 2009. Recursos Não-Vivos da Plataforma Continental Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes. *Gravel, UFRGS. EE*. 86p.
- SZATMARI, P. 1980. The Origin of Oil Deposits: A Model Based on Evaporites. *In*: XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. Anais. Camboriú, SC. v.1, p. 455–499.
- SZATMARI, P.; CARVALHO, R. S.; SIMÕES, I. A.; TIBANA, P.; LEITE, D. C. 1974. *Evaporitos de Sergipe*. Aracaju: PETROBRAS, RPNE. 159p.
- SZATMARI, P.; LIMA, C. M.; FONTANETA, G.; LIMA, N. M.; ZAMBONATO, E.; MENEZES, M. R.; BAHNIUK, J.; COELHO, S. L.; FIGUEIREDO, M.; FLORENCIO, C. P.; GONTIJO, R. 2021. Petrography, geochemistry and origin of South Atlantic evaporites: The Brazilian side. *Marine and Petroleum Geology*, 127, 104805. DOI: [10.1016/j.marpetgeo.2020.104805](https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104805).
- TIMOFEEFF, M. N.; LOWENSTEIN, T. K.; SILVA, M. A. M. da; HARRIS, N. B. 2006. Secular variation in the major-ion chemistry of seawater: Evidence from fluid inclusions in

Cretaceous halites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(8): 1977–1994. DOI: [10.1016/j.gca.2006.01.020](https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.01.020).

WARREN, J. K. 1982. The hydrological setting, occurrence and significance of gypsum in late Quaternary salt lakes in South Australia. *Sedimentology*, 29(5): 609–637. DOI: [10.1111/j.1365-3091.1982.tb00071.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1982.tb00071.x).

WARREN, J. K. 1983. A review of gypsum reserves at Lake MacDonnell, Eyre Peninsula. *Mineral Resources Review*, South Australia, n. 152: 12–18.

WARREN, J. K. 1989. *Evaporite Sedimentology Importance in Hydrocarbon Accumulation*. Prentice Hall. 285p. ISBN 0-13-292335-1.

WARREN, J. K. 2006. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*. Springer, 1019 p. ISBN 978-3-540-26011-0.

WARREN, J. K. 2010. Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth-Science Reviews*, 98(3-4): 217–268. DOI: [10.1016/j.earscirev.2009.11.004](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.11.004).

WARREN, J. K. 2016. Evaporites. *In*: WHITE, W. M. (Ed.). *Encyclopedia of Geochemistry*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer. Cham. DOI: [10.1007/978-3-319-39193-9\\_100-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39193-9_100-1).

ZELEK, S. M.; STADNICKA, K. M.; TOBOŁA, T.; NATKANIEC-NOWAK L. 2014. Lattice deformation of blue halite from Zechstein evaporite basin: Kłodawa Salt Mine, Central Poland. *Miner Petrol.*, 108: 619–631. DOI: [10.1007/s00710-014-0323-9](https://doi.org/10.1007/s00710-014-0323-9).

## **Sobre os Autores**

### **Maria Augusta Martins da Silva**

Geóloga pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e mestre em Geologia Costeira pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestrado e PhD pela Columbia University (NY/USA) sobre análise de bacias sedimentares em especial a fase evaporítica das bacias do Araripe e Sergipe. Áreas atuais de interesse são evaporitos, caracterização e evolução dos sistemas costeiros do tipo barreira-laguna no estado do Rio de Janeiro, dinâmica de praias. Professora aposentada da Universidade Federal Fluminense (UFF).

E-mail: [mariaaugustasilva0@gmail.com](mailto:mariaaugustasilva0@gmail.com)

ORCID: [0000-0003-1877-7304](https://orcid.org/0000-0003-1877-7304)

### **Flávio Zaborne Oliver**

Geólogo pela UFPR e mestre em geologia e geofísica marinha pela Universidade Federal Fluminense. Geólogo de reservatório na EQUINOR atuou na modelagem e caracterização de reservatórios do pré-sal das bacias de Campos e Santos. Atualmente na Trident Energy atuando na Bacia de Campos.

E-mail: [fzaborne@gmail.com](mailto:fzaborne@gmail.com)

**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](mailto:calliarilauro@gmail.com)

ORCID: [0000-0002-5503-8300](https://orcid.org/0000-0002-5503-8300)

**Tim Lowenstein**

Geólogo com BA pela Colgate University (NY/USA) e PhD pela Johns Hopkins University (MD/USA). Principais interesses são evaporitos, geoquímica, geomicrobiologia, paleoclimatologia, com pesquisas recentes sobre variações da química dos oceanos antigos, mudanças climáticas antigas, sobrevivência de microrganismos antigos e DNA em depósitos de sal. Considerado um dos maiores especialistas em evaporitos do mundo. Recebeu prêmios em 2012 e 2016 da Geological Society of America e o Excellence in Research da Binghamton University 2000-2001. Professor emérito do Department of Geological Sciences and Environmental Studies da Binghamton University da State University of New York.

E-mail: [lowenst@binghamton.edu](mailto:lowenst@binghamton.edu)

ORCID: [0000-0003-2828-7341](https://orcid.org/0000-0003-2828-7341)