

**A QUALIDADE DO SOLO E A SUSTENTABILIDADE DO CÉREBRO****SOIL QUALITY AND BRAIN SUSTAINABILITY****CALIDAD DEL SUELO Y SOSTENIBILIDAD CEREBRAL** 10.56238/revgeov17n5-128**Fulvio Alexandre Scorza**

Instituição: Faculdade Israelita de Ciências da Saúde Albert Einstein, Einstein Hospital Israelita, Departamento de Neurologia e Neurocirurgia, Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo (EPM/UNIFESP)  
E-mail: scorza@unifesp.br

**Mauro Spalding**

Instituição: Instituto Kairós

**Arpad Spalding Reiter**

Instituição: Instituto Kairós

**Ana Flávia Borges Badue**

Instituição: Instituto Kairós

**Antonio-Carlos G. de Almeida**

Instituição: Laboratório de Neurociência Experimental e Computacional, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ)  
E-mail: acga@ufs.edu.br

**Larissa Beltramim**

Instituição: Departamento de Neurologia e Neurocirurgia, Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo (EPM/UNIFESP), Escritório de Políticas Públicas, Desenvolvimento Sustentável e Inovação Social da Associação Paulista para o Desenvolvimento da Medicina (SPDM)  
E-mail: larissa.beltramim@spdm.org.br

**RESUMO**

Este artigo de revisão enfatiza a conexão interdependente entre a qualidade do solo e a saúde humana, enfatizando as consequências cerebrais tanto dos benefícios de solos saudáveis quanto dos perigos representados pela deterioração do solo.

**Palavras-chave:** Cérebro. Solo. Saúde. Agrotóxicos. Nutrientes.



**ABSTRACT**

This review article emphasizes the interdependent connection between soil quality and human health, highlighting the brain consequences of both the benefits of healthy soils and the dangers posed by soil deterioration.

**Keywords:** Brain. Soil. Health. Pesticides. Nutrients.

**RESUMEN**

Este artículo de revisión destaca la interdependencia entre la calidad del suelo y la salud humana, haciendo hincapié en las consecuencias para el cerebro tanto de los beneficios de los suelos sanos como de los peligros que supone su deterioro.

**Palabras clave:** Cerebro. Suelo. Salud. Plaguicidas. Nutrientes.



## 1 TEXTO INTEGRAL

Uma das primeiras descrições formais da relação entre solo e saúde humana foi realizada no século IV A.C. por Hipócrates, o pai da medicina (Steffan et al., 2018). Ele publicou uma lista de elementos que deveriam ser considerados em uma avaliação médica adequada, em que a qualidade do solo estava incluída (Steffan et al., 2018). No Brasil, Ana Maria Primavesi, uma das precursoras do estudo da agroecologia em nosso país, enfatizou que "o solo é um organismo vivo. Se o solo está doente, planta, animal e homem também adoecem" (Knabben, 2024). Com sua inteligência e sensibilidade, a agrônoma transformou a maneira como o Brasil vê a agricultura e a saúde humana hoje em dia. De fato, a saúde humana e o solo possuem uma relação complexa, abrangente e interligada (Obasi et al., 2025; Adhikari & Hartemink, 2016). O cultivo de alimentos nutritivos, fundamentais para uma dieta balanceada que previne doenças e desnutrição, requer solos férteis e saudáveis (Obasi et al., 2025; Berkhout et al., 2019). Assim, um solo saudável é aquele que possui um suprimento equilibrado de nutrientes, o que favorece a saúde ideal e o crescimento máximo das plantas, fundamental para a produtividade agrícola sustentável (Obasi et al., 2025; Delgado & Gómez, 2024; Lehmann et al., 2020). As culturas podem crescer de maneira eficaz e acumular nutrientes essenciais para as dietas humanas quando os solos proporcionam uma combinação equilibrada de macronutrientes (ex., nitrogênio, fósforo e potássio) e micronutrientes (ex., ferro, zinco, iodo, cobre e manganês) (Obasi et al., 2025; Praharaj et al., 2021; Osman, 2013). É importante destacar que microrganismos, como bactérias, fungos e outros organismos que vivem no solo, são fundamentais para a decomposição da matéria orgânica, reciclagem de nutrientes e promoção do crescimento das plantas (Obasi et al., 2025; Yadav et al., 2021). Por outro lado, solos contaminados ou degradados afetam diretamente a soberania e a segurança alimentar e representam sérios riscos à nossa saúde (Obasi et al., 2025; Faye & Braun, 2022).

Com base nessas informações relevantes apresentadas acima e na certeza de que a nutrição é fundamental para solucionar diversos problemas médicos, sociais, ambientais e econômicos globais (Ohlhorst et al., 2013), é crucial enfatizar a possível relação entre a qualidade do solo e a saúde do nosso cérebro.

O cérebro é o órgão mais fascinante do corpo humano. Formado por 86 bilhões de neurônios, com peso aproximado de 1,5 kg, e utilizando cerca de 20% do oxigênio e de 15 a 20% da glicose que consumimos, o cérebro é responsável por nossas sensações, emoções, raciocínio, linguagem e consciência (Scorza et al., 2026; Lent, 2025; Wang et al., 2025; Shimoura et al., 2021). Contudo, essas notáveis características do nosso cérebro só se tornaram viáveis graças às experiências e desafios enfrentados por nossos antepassados ao longo da história, os quais contribuíram para o aprimoramento cerebral durante o processo evolutivo (Scorza et al., 2026; Ortells & Stewart, 2025; Lancaster, 2024). Assim, sofisticados estudos têm mostrado que a alimentação proveniente da produção em solos férteis e ricos em nutrientes, que proporcionaram alimentos com alta densidade nutricional, foi um fator



crucial para a evolução do cérebro (Scorza et al., 2026; Ortells & Stewart, 2025; Obasi et al., 2025; Praharaj et al., 2021; Judaš et al., 2013; Carmody & Wrangham, 2009; Cunnane et al., 1993). Como o cozimento dos alimentos possibilitou uma maior absorção de calorias, esse acréscimo de energia no organismo, aliado ao tempo livre para atividades sociais, foi fundamental para o aprimoramento da capacidade cerebral e aumento do tamanho do cérebro (Scorza et al., 2026; Ortells & Stewart, 2025; Judaš et al., 2013; Carmody & Wrangham, 2009). Está claro na literatura atual que a presença adequada de micro e macronutrientes no solo é fundamental para uma dieta saudável, que, por sua vez, contribui para a integridade cerebral (López-Sebastiani et al., 2026; Obasi et al., 2025; Muth et al., 2021; Shukla et al., 2018). Esses nutrientes desempenham um papel crucial no desenvolvimento do cérebro, na homeostase metabólica e no funcionamento cognitivo ao longo da vida (López-Sebastiani et al., 2026; Obasi et al., 2025; Muth et al., 2021; Shukla et al., 2018). Em contrapartida, uma nutrição inadequada compromete significativamente a saúde cerebral (López-Sebastiani et al., 2026; Obasi et al., 2025; Muth et al., 2021; Shukla et al., 2018).

Infelizmente, é fundamental ressaltar que uma das principais ameaças à saúde humana é a poluição do solo (Obasi et al., 2025; Mishra et al., 2019). O consumo de alimentos originários de solos contaminados por agrotóxicos, metais pesados e patógenos nocivos pode provocar danos agudos e crônicos ao cérebro (Obasi et al., 2025; Moyebi et al., 2024; Scorza et al., 2023; Garthoff et al., 2001). Por exemplo, certas categorias de agrotóxicos, como carbamatos, organoclorados e organofosforados, podem provocar prejuízos consideráveis ao cérebro e são apontadas como fatores de risco para o surgimento de doenças neurodegenerativas, como Parkinson e Alzheimer (Scorza et al., 2026a; Botnaru et al., 2025; Scorza et al., 2024; Scorza et al., 2023; Zanchi et al., 2023; Ichikawa, 2015). No que diz respeito aos mecanismos, esses agrotóxicos provocam efeitos neurológicos ao perturbar os processos celulares, bioquímicos e moleculares essenciais para o funcionamento normal do cérebro (Scorza et al., 2026a; Botnaru et al., 2025; Scorza et al., 2024; Scorza et al., 2023; Zanchi et al., 2023; Ichikawa, 2015). Ademais, é relevante ressaltar que a exposição à agrotóxicos entre trabalhadores e trabalhadoras rurais eleva a incidência de ansiedade, depressão e uma alarmante taxa de suicídio entre os agricultores e agricultoras (duas vezes superior à média nacional) (Scorza et al., 2026a; Botnaru et al., 2025; Scorza et al., 2024; Scorza et al., 2023; Zanchi et al., 2023; Ichikawa, 2015). Infelizmente, o mesmo se aplica aos metais pesados. A exposição a metais pesados é uma questão global de saúde pública, uma vez que alguns desses metais são altamente tóxicos para o nosso organismo, mesmo em pequenas quantidades (Scorza et al., 2026b; Porru et al., 2024). Nesse contexto, metais pesados como cádmio (Cd), mercúrio (Hg), cobre (Cu) e chumbo (Pb), além de metalóides como arsênico (As), são extremamente neurotóxicos, prejudicando a função cognitiva, o comportamento e a morfologia neuronal (Scorza et al., 2026b; Porru et al., 2024). Essas mudanças têm sido diretamente associadas ao desenvolvimento de doenças neurodegenerativas e do neurodesenvolvimento, bem como ao



surgimento de transtornos neurocognitivos e neuropsicológicos (Scorza et al., 2026b; Porru et al., 2024). Além disso, uma série de estudos têm demonstrado que a inflamação e infecções do sistema nervoso central e efeitos neurológicos adversos (comprometimento do desenvolvimento cognitivo) podem ser consequência de doenças transmitidas por patógenos presentes nos alimentos provenientes de solos contaminados (Obasi et al., 2025; Caldreer et al., 2022; Garthoff et al., 2001).

De modo geral, nosso grupo de pesquisa acredita que solos saudáveis são fundamentais para a saúde humana, para a garantia do direito humano à alimentação adequada, contribuindo também para a integridade e funcionalidade do nosso cérebro. No entanto, é fundamental destacar que solos contaminados por agrotóxicos, metais pesados e patógenos nocivos podem constituir um grave risco para a nossa saúde e exigem um debate transdisciplinar aprofundado no meio científico. Essas observações evidenciam a relevância de incluir o tema “qualidade do solo e saúde humana” na agenda pública, como tema intersetorial, considerando também seus aspectos econômicos, de infraestrutura e interface com políticas públicas sociais e ambientais. Finalmente, cuidar do solo é cuidar da vida, pois não há distinção entre a saúde ambiental e a saúde humana, sendo o solo o ponto de partida.



**REFERÊNCIAS**

- Adhikari K, Hartemink AE. Linking soils to ecosystem services—A global review *Geoderma*. 2016; (262): 101-111. doi: 10.1016/j.geoderma.2015.08.009.
- Berkhout ED, Malan M, Kram T. Better soils for healthier lives? An econometric assessment of the link between soil nutrients and malnutrition in Sub-Saharan Africa. *PLoS One*. 2019;14(1):e0210642. doi: 10.1371/journal.pone.0210642.
- Botnaru AA, Lupu A, Morariu PC, Jitäreanu A, Nedelcu AH, Morariu BA, Anton E, Di Gioia ML, Lupu VV, Dragostin OM, Vieriu M, Morariu ID. Neurotoxic Effects of Pesticides: Implications for Neurodegenerative and Neurobehavioral Disorders. *J Xenobiot*. 2025;15(3):83. doi: 10.3390/jox15030083.
- Caldrer S, Ursini T, Santucci B, Motta L, Angheben A. Soil-Transmitted Helminths and Anaemia: A Neglected Association Outside the Tropics. *Microorganisms*. 2022;10(5):1027. doi: 10.3390/microorganisms10051027.
- Carmody RN, Wrangham RW. The energetic significance of cooking. *J Hum Evol*. 2009; 57(4): 379-391. doi: 10.1016/j.jhevol.2009.02.011
- Cunnane SC, Harbige LS, Crawford MA. The importance of energy and nutrient supply in human brain evolution. *Nutr Health*. 1993; 9(3):219-235. doi:10.1177/026010609300900307.
- Delgado A, Gómez, JA. The Soil: Physical, Chemical, and Biological Properties”. In *Principles of agronomy for sustainable agriculture*. Cham: Springer International Publishing. 2024; pp. 15-30. doi: 10.1007/978-3-031-69150-8\_2
- Faye JB, Braun, YA. Soil and human health: Understanding agricultural and socio-environmental risk and resilience in the age of climate change”. *Health & Place*. 2022; 77:102799. doi: 10.1016/j.healthplace.2022.102799.
- Garthoff LH, Sobotka TJ. From farm to table to brain: foodborne pathogen infection and the potential role of the neuro-immune-endocrine system in neurotoxic sequelae. *Nutr Neurosci*. 2001;4(5):333-74. doi: 10.1080/1028415x.2001.11747373.
- Ichikawa H. Neurotoxicology of pesticides. *Brain Nerve*. 2015; 67(1):39-48. doi: 10.11477/mf.1416200085.
- Judaš M, Sedmak G, Kostović I. The significance of the subplate for evolution and developmental plasticity of the human brain. *Front Hum Neurosci*. 2013; 7(423): 1-9. doi:10.3389/fnhum.2013.00423
- Knabben VM. *Ana Maria Primavesi: histórias de vida e agroecologia*. 2 ed. São Paulo: Expressão Popular, 2024.
- Lancaster MA. Unraveling mechanisms of human brain evolution. *Cell*. 2024; 187(21):5838-5857. doi:10.1016/j.cell.2024.08.052.
- Lehmann J, Bossio DA, Kögel-Knabner I, Rillig MC. The concept and future prospects of soil health. *Nat Rev Earth Environ*. 2020;1(10):544-553. doi: 10.1038/s43017-020-0080-8.



Lent, R. Yes, the human brain has around 86 billion neurons. *Brain*. 2025; 148(5), e37–e38. doi: 0.1093/brain/awaf048.

López-Sebastiani V, Quiroz-Cornejo KV, Arellano-Salazar MP, Monje-Bolivar F, Samillan VJ. Micronutrient balance and brain function: neuropsychological, metabolic, and clinical interactions. *Front Mol Biosci*. 2026;13:1748487. doi: 10.3389/fmolb.2026.1748487.

Mishra S, Bharagava RN, More N, Yadav A, Zainith S, Mani S, Chowdhary P. Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. *Environmental biotechnology: For sustainable future*. 2019; 103-125. doi:10.1007/978-981-10-7284-0\_5.

Moyebi OD, Lebbie T, Carpenter DO. Standards for levels of lead in soil and dust around the world. *Rev Environ Health*. 2024;40(1):185-196.

Muth AK, Park SQ. The impact of dietary macronutrient intake on cognitive function and the brain. *Clin Nutr*. 2021 Jun;40(6):3999-4010. doi: 10.1016/j.clnu.2021.04.043.

Obasi SN, Tenebe VA, Obasi CC, Osujieke D, Imadojemu PE. Soil and Human Health Relationship: Exploring The Interconnectedness of Ecosystem and Well-Being – A Review. *Nigerian Journal of Technology*. 2025; 44: (4), 746 - 768. doi: 10.4314/njt.2025.4499.

Ohlhorst, S. D., Russell, R., Bier, D., Klurfeld, D. M., Li, Z., Mein, J. R., Milner, J., Ross, A. C., Stover, P., & Konopka, E. (2013). Nutrition research to affect food and a healthy life span. *The Journal of nutrition*, 143(8), 1349–1354. doi:10.3945/jn.113.180638.

Ortells MO, Stewart S. The multivariate basis of human brain evolution: The prerequisites of fire control and cooking. *Evol Anthropol*. 2025; 34(3):e70008. doi: 10.1002/evan.70008

Osman KT. Plant nutrients and soil fertility management. *Soils: Principles, properties and management*. 2013; 129-159.

Praharaj S, Skalicky M, Maitra S, Bhadra P, Shankar T, Brestic M, Hejnak V, Vachova P, Hossain A. Zinc Biofortification in Food Crops Could Alleviate the Zinc Malnutrition in Human Health. *Molecules*. 2021;26(12):3509. doi: 10.3390/molecules26123509.

Porru S, Esplugues A, Llop S, Delgado-Saborit JM. The effects of heavy metal exposure on brain and gut microbiota: A systematic review of animal studies. *Environ Pollut*. 2024;348:123732. doi: 10.1016/j.envpol.2024.123732.

Scorza FA, Beltramim L, Bombardi LM. Pesticide exposure and human health: Toxic legacy. *Clinics*. 2023;78:100249. doi: 10.1016/j.clinsp.2023.100249.

Scorza FA, Bombardi LM, Beltramim L. Agrotóxicos e a Saúde Humana. In: Scorza FA, Bombardi LM, Beltramim L, editors. *Agrotóxicos e a Saúde Humana*. Brasil: Editora dos Editores, 2024; p. 1-76. ISBN-10. 6561030451 .

Scorza FA, Beltramim L, de Almeida ACG, Bombardi LM. AGROTÓXICOS NO LEITE MATERNO E SEUS IMPACTOS NO CÉREBRO. *RG*. 2026;17(1):e1321. doi:10.56238/revgeov17n1-079



Scorza FA, de Mello MF, Beltramim L, de Almeida ACG, Wolosker N. AGROTÓXICOS E O SISTEMA VASCULAR: UMA LIGAÇÃO OCULTA. RG. 2026a;17(1):e1454. doi:10.56238/revgeov17n1-177

Scorza FA, de Almeida ACG, Wuo-Silva R, Chaddad-Neto F. MALFORMAÇÃO ARTERIOVENOSA CEREBRAL: O RISCO DA EXPOSIÇÃO A METAIS PESADOS. RG. 2026b;17(2):e1579. doi:10.56238/revgeov17n2-073

Shimoura, R., Pena, R., Kamiji, N., Lima Cordeiro, V. Modelos de redes de neurônios para o neocórtex e fenômenos emergentes observados. Revista Brasileira de Ensino de Física. 2021; 43(1), 1-12, doi: 10.1590/1806-9126-rbef-2020-0452.

Shukla A, Behera SK, Pakhre A, Chaudhary S. Micronutrients in soils, plants, animals and humans. Indian Journal of Fertilisers. 2018; 14(4): 30-54. doi:

Steffan JJ, Brevik EC, Burgess LC, Cerdà A. The effect of soil on human health: an overview. Eur J Soil Sci. 2018; 69(1):159-171. doi: 10.1111/ejss.12451.

Yadav AN, Kour D, Kaur T, Devi R, Yadav A, Dikilitas M, Abdel-Azeem AM, Ahluwalia AS, Saxena AK. Biodiversity, and biotechnological contribution of beneficial soil microbiomes for nutrient cycling, plant growth improvement and nutrient uptake. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2021; 33: 102009. doi: 10.1016/j.bcab.2021.102009.

Wang Y, Zhou L, Wang N, Qiu B, Yao D, Yu J, He M, Li T, Xie Y, Yu X, Bi Z, Sun X, Ji X, Li Z, Mo D, Ge WP. Comprehensive characterization of metabolic consumption and production by the human brain. Neuron. 2025;113(11):1708-1722.e5. doi: 10.1016/j.neuron.2025.03.003.

Zanchi MM, Marins K, Zamoner A. Could pesticide exposure be implicated in the high incidence rates of depression, anxiety and suicide in farmers? A systematic review. Environ Pollut. 2023;331(Pt 2):121888. doi: 10.1016/j.envpol.2023.121888.

