



QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE

SOIL QUALITY IN ORGANIC AND CONVENTIONAL VEGETABLE PRODUCTION SYSTEMS IN NORTH MARANHENSE

CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS ORGÁNICAS Y CONVENCIONALES EN EL NORTE DE MARANHENSE

Gênesis Alves de Azevedo¹, Teonis Batista da Silva², Flávia Cartaxo Ramalho Vilar³, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior⁴, Lucianne Martins Lobato⁵, Giselly Martins Lobato⁶, Carlos Alberto Araújo Costa⁴, James Ribeiro de Azevedo⁴, Gerson Freitas Vieira Neto⁴, Heigla Márcia de Sousa Silva⁴, Cyntia Airagna Fortes dos Santos⁴, Ricardo Feitosa da Silva⁴

e565164

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i6.5164>

PUBLICADO: 06/2024

RESUMO

Considerando o solo como um dos principais fundamentos da sustentabilidade de qualquer sistema de produção, a análise abrangente dos atributos edafobiológicos pode representar uma ferramenta crucial para a avaliação de sua qualidade. Este estudo teve como objetivo examinar a qualidade do solo em relação às práticas agrícolas adotadas, por meio da análise integrada de atributos físicos, químicos e biológicos. A pesquisa foi conduzida entre 2022 e 2023 em propriedades familiares nas regiões de Anapurus e Mata Roma, no estado do Maranhão. Foram examinados os atributos físicos, químicos e biológicos por meio da coleta de amostras de solo de áreas cultivadas com hortaliças e de áreas de mata ou pastagem. Os resultados indicam uma redução nos teores de matéria orgânica no solo em áreas de cultivo, tanto orgânicas quanto convencionais, comparadas às áreas de referência, sugerindo uma degradação do solo. Em Anapurus, essa diminuição foi de 20% e em Mata Roma de 7%. Os altos níveis de fósforo foram destacados em ambas as regiões, com possíveis impactos na disponibilidade de outros nutrientes e riscos ambientais. A análise dos parâmetros físicos do solo mostrou variações na compactação e estabilidade dos agregados, com implicações na penetração das raízes e na qualidade do solo. Apesar da sensibilidade da biomassa microbiana, não foram encontradas diferenças significativas entre os sistemas de manejo. Concluiu-se que as práticas agrícolas utilizadas na maioria das propriedades orgânicas e convencionais favoreceram a degradação do solo, devida principalmente ao revolvimento intensivo e à ausência de cobertura do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Atributos edafobiológicos. Análise integrada. Práticas agrícolas.

ABSTRACT

Considering soil as one of the main foundations of the sustainability of any production system, the comprehensive analysis of edaphobiological attributes can represent a crucial tool for evaluating its quality. This study aimed to examine soil quality in relation to adopted agricultural practices, through the integrated analysis of physical, chemical and biological attributes. The research was conducted between 2022 and 2023 on family properties in the regions of Anapurus and Mata Roma, in the state of Maranhão. The physical, chemical and biological attributes were examined by collecting soil samples from areas cultivated with vegetables and from forest or pasture areas. The results indicate a reduction in organic matter content in the soil in cultivation areas, both organic and conventional, compared to reference areas, suggesting soil degradation. In Anapurus, this decrease was 20% and in Mata Roma, 7%. High phosphorus levels were highlighted in both regions, with possible impacts on the availability of other nutrients and environmental risks. The analysis of the physical parameters of

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP.

² Universidade Federal do Piauí.

³ Instituto Federal do Sertão Pernambucano.

⁴ Universidade Federal do Maranhão.

⁵ Fundação Universidade Federal da Grande Dourados.

⁶ Universidade Federal da Grande Dourados.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior,
Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto,
Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

the soil showed variations in the compaction and stability of the aggregates, with implications for root penetration and soil quality. Despite the sensitivity of microbial biomass, no significant differences were found between management systems. It was concluded that the agricultural practices used in most organic and conventional properties favored soil degradation, mainly due to intensive tillage and the lack of soil cover.

KEYWORDS: *Edaphobiological attributes. Integrated analysis. Agricultural practices.*

RESUMEN

Considerando el suelo como uno de los principales pilares de la sostenibilidad de cualquier sistema de producción, el análisis integral de los atributos edafobiológicos puede representar una herramienta crucial para evaluar su calidad. Este estudio tuvo como objetivo examinar la calidad del suelo en relación con las prácticas agrícolas adoptadas, a través del análisis integrado de atributos físicos, químicos y biológicos. La investigación se realizó entre 2022 y 2023 en propiedades familiares en las regiones de Anapurus y Mata Roma, en el estado de Maranhão. Los atributos físicos, químicos y biológicos se examinaron mediante la recolección de muestras de suelo de áreas cultivadas con hortalizas y de áreas forestales o de pastos. Los resultados indican una reducción del contenido de materia orgánica en el suelo en las zonas de cultivo, tanto orgánico como convencional, en comparación con las zonas de referencia, lo que sugiere una degradación del suelo. En Anapurus este descenso fue del 20% y en Mata Roma del 7%. Se destacaron altos niveles de fósforo en ambas regiones, con posibles impactos en la disponibilidad de otros nutrientes y riesgos ambientales. El análisis de los parámetros físicos del suelo mostró variaciones en la compactación y estabilidad de los agregados, con implicaciones para la penetración radicular y la calidad del suelo. A pesar de la sensibilidad de la biomasa microbiana, no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas de gestión. Se concluyó que las prácticas agrícolas utilizadas en la mayoría de las propiedades orgánicas y convencionales favorecieron la degradación del suelo, debido principalmente a la labranza intensiva y la falta de cobertura del suelo.

PALABRAS CLAVE: *Atributos edafobiológicos. Análisis integrado. Prácticas de la agricultura.*

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural fundamental para a sustentabilidade e produtividade dos sistemas de produção agrícola, tanto em ambientes orgânicos quanto convencionais. Sua importância reside na sua complexa composição física, química e biológica, que sustenta a vida vegetal e animal, além de desempenhar um papel crucial na regulação dos ciclos de nutrientes e na purificação da água (Gomez; López; Nieto, 2019).

A qualidade do solo é um aspecto-chave que influencia diretamente a capacidade produtiva e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Compreender e avaliar a qualidade do solo é essencial para garantir uma produção agrícola eficiente e ambientalmente responsável, minimizando os impactos negativos sobre os recursos naturais e maximizando os benefícios para os agricultores e a sociedade como um todo (Gomez; López; Nieto, 2019).

A determinação da qualidade do solo envolve a avaliação de diversas variáveis, incluindo características físicas, químicas e biológicas. Parâmetros como textura, estrutura, pH, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e presença de microrganismos são frequentemente utilizados para avaliar a saúde e a fertilidade do solo (Pérez Rodrigues *et al.*, 2020).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior,
Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto,
Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

A atividade biológica desempenha um papel crucial na manutenção da qualidade do solo, contribuindo para processos como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e controle de pragas e doenças. Microrganismos como bactérias, fungos, protozoários e nematoides interagem de maneira complexa para promover a saúde do solo e a produtividade das culturas (Bardgett; Van, 2014).

A avaliação da qualidade do solo não apenas fornece informações essenciais para a tomada de decisões agrícolas, mas também desempenha um papel fundamental na conservação dos recursos naturais e na promoção da sustentabilidade ambiental. Ao compreender os fatores que influenciam a qualidade do solo e implementar práticas de manejo adequadas, é possível melhorar a produtividade agrícola de forma sustentável, garantindo a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras (Martinez *et al.*, 2021).

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo da pesquisa foi avaliar a qualidade do solo em função das práticas agrícolas utilizadas, mediante a análise integrada de atributos precoces e sensíveis, a fim de estabelecer medidas alternativas para um manejo mais adequado do solo.

3. OBJETIVO ESPECÍFICO

Realizar análise integrada dos atributos do solo por meio da análise de componentes principais (ACP), como forma de selecionar os indicadores de qualidade do solo mais precoces e sensíveis, utilizando o valor médio das quatro avaliações de cada atributo do solo realizadas em diferentes áreas de manejo.

4. JUSTIFICATIVA

A avaliação da qualidade do solo fornece informações importantes para a tomada de decisões dos diferentes manejos agrícolas, fornecendo papel fundamental na conservação dos recursos naturais e na promoção da sustentabilidade ambiental. Ao compreender os fatores que influenciam a qualidade do solo, pode-se utilizar práticas de manejo adequadas, melhorando a produtividade agrícola de forma e garantindo a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras

5. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nos Municípios de Anapurus e Mata Roma, no Estado do Maranhão, entre janeiro de 2022 e dezembro de 2023. As propriedades foram selecionadas em parceria com produtores rurais locais, com sistema de produção convencional (SPC) e orgânico (SPO), sendo as propriedades com produção orgânica certificadas há mais de dois anos. A pesquisa admitiu seis propriedades para cada sistema de produção, em cada município. Nos dois Municípios as



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior,
Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto,
Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

características das áreas são de pequenas propriedades familiares, com cultivo predominante de hortaliças, em áreas variando entre 2-6 ha no Município de Anapurus e 1-3 ha no Município de Mata Roma.

A preparação do solo nas áreas de cultivo foi principalmente feita através da aração, gradagem e formação de canteiros com o uso de enxadas rotativas. Uma minoria, aproximadamente 10% das áreas sob o sistema orgânico, adotou práticas de cultivo mínimo e deixou o solo em pousio periodicamente. No que diz respeito aos cuidados fitossanitários em sistemas orgânicos, estes se limitaram ao uso de métodos de controle biológico e defensivos alternativos. Quanto à adubação nos sistemas orgânicos, foram empregados esterco, adubos verdes e compostos orgânicos. Por outro lado, no sistema convencional, o solo foi fertilizado com formulações comerciais contendo NPK, além do uso de esterco quando disponível. O controle de pragas e doenças foi realizado principalmente através do uso de agrotóxicos.

Foram conduzidas duas coletas anuais de amostras de solo, uma em 2022 e outra em 2023, sendo uma realizada em abril, após o período de chuvas, e a outra em dezembro, após a estação seca. Em cada propriedade, as análises foram realizadas em solos utilizados para o cultivo de diversas espécies de hortaliças, bem como em áreas de mata ou pastagem, que serviram como pontos de referência, dependendo da localização do estudo. As áreas de referência foram escolhidas para representar o estado natural do solo, ou seja, sem influência direta do manejo humano, com o objetivo de melhor compreender os efeitos do manejo nas áreas cultivadas.

Para realizar as análises químicas e biológicas do solo, foram utilizadas amostras deformadas de solo coletadas com um trado do tipo holandês, enquanto para as análises físicas, foram coletadas amostras não deformadas com o auxílio de um anel volumétrico, de acordo com o atributo a ser determinado. Após a coleta, as amostras destinadas à análise biológica foram armazenadas em caixas de isopor. Cada amostra composta foi constituída de cinco amostras simples de solo, coletadas na profundidade de 0-20 cm. Essas amostras foram processadas e enviadas para o laboratório de solos e nutrição de plantas da Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal. Os solos coletados foram classificados quanto à textura conforme a metodologia descrita por Kiehl (1979). As classes texturais dos solos das áreas de referência e dos locais de cultivo amostrados nas propriedades para o estudo foram identificadas como franco argilo arenoso, nos solos de Anapurus, e franco argiloso, nos solos de Mata Roma. As análises químicas para avaliar a fertilidade do solo (Tabela 1) e as análises físicas para determinar a estrutura do solo (Tabela 2) foram realizadas seguindo as metodologias descritas pela Embrapa (1997) e Raij, Andrade, Quaggio (2001), respectivamente. As análises biológicas foram conduzidas conforme as metodologias descritas por Frighetto *et al.*, (2007).

Uma análise integrada dos atributos do solo foi realizada por meio da técnica de análise de componentes principais (ACP), visando selecionar os indicadores de qualidade do solo que fossem mais sensíveis e indicativos. Para isso, foram considerados os valores médios das quatro avaliações



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior,
Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto,
Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

de cada atributo do solo realizadas em 2022 e 2023. Esses dados foram processados no programa MATLABM, versão 5.2

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em Anapurus foram identificados valores médios de matéria orgânica no solo (MOS) nas áreas sob práticas de cultivo orgânico, com 32,08 g L⁻¹, e no sistema de cultivo convencional, com 33,08 g L⁻¹, ambos inferiores aos observados nas áreas de referência, com 45,70 g L⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1. Indicadores químicos do solo nas áreas testemunhas e de cultivos de propriedades orgânicas e convencionais nos municípios de Anapurus e Mata Roma, Maranhão, 2022-2023

Trat.	MO (g L ⁻¹)	PH CaCl ₂	P (mg L ⁻¹)	(mmolc dm ⁻³)					CTC	V (%)
				K	Ca	Mg	H+Al	SB		
Anapurus										
TSO	44,64	4,5	25,38	0,88	16,48	3,98	79,08	24,38	104,2	22,3
CSO	32,08	5,5	172,1	2,58	57,48	10,98	29,38	74,08	105,1	66,0
TSC	43,28	4,4	53,18	0,98	20,58	5,08	76,08	29,68	107,2	29,0
CSC	33,08	5,4	175,12	2,88	64,88	13,98	27,88	84,68	114,3	69,2
Mata Roma										
TSO	46,8	4,5	13,13	1,43	14,73	5,13	72,93	24,23	98,63	28,1
CSO	40,1	5,5	40,53	1,63	30,63	10,33	40,83	45,33	87,73	50,2
TSC	44,1	4,3	27,53	1,83	27,63	8,93	51,63	41,33	94,63	41,0
CSC	35,3	5,0	83,03	2,23	33,33	11,03	38,83	49,53	89,93	52,8

Trat. (Tratamento), Matéria orgânica (MO), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), índice de saturação por bases (V%). Testemunha (T); Cultivo (C); Sistema Orgânico (SO); Sistema Convencional (SC)

Em Mata Roma, foi evidenciada uma tendência semelhante de empobrecimento nos solos submetidos a práticas de cultivo orgânico, registrando-se 40,1 g L⁻¹, e no sistema de cultivo convencional, com 35,3 g L⁻¹, em comparação com as áreas de referência, com 46,8 g L⁻¹. Verificou-se uma diminuição de 20% em Anapurus e 7% em Mata Roma nos teores de matéria orgânica nas áreas cultivadas em relação às áreas naturais.

A maior diminuição observada em Anapurus pode ser associada tanto à maior intensificação do uso do solo quanto à maior fragilidade do solo decorrente de suas características intrínsecas. Por outro lado, a perda de carbono orgânico pode estar relacionada à própria natureza do solo. Para ambas as regiões, a redução da MOS nas áreas de cultivo foi menor do que a relatada por Bayer e Schneider (1999), que observaram reduções de até 55% ao comparar com os valores encontrados em áreas de mata com aquelas cultivadas de forma convencional. Os valores medidos, tanto nas áreas de cultivo quanto nas áreas de referência, situam-se abaixo de 50 g L⁻¹, um limiar médio citado por Raij, Andrade, Quaggio (2001), para solos sob cultivo, considerando-se a textura dos solos analisados.

Por influenciar direta e indiretamente as características do solo (físicas, químicas e biológicas) e o desempenho das plantas, a matéria orgânica é essencial para a produtividade, especialmente nas regiões tropicais, constituindo-se no alicerce da sustentabilidade agrícola (Hartz; Mitchell, 2019). A



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior,
Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto,
Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

matéria orgânica desempenha um papel crucial nas funções do solo, variando constantemente em resposta ao manejo deste recurso natural, tornando-o assim um indicador confiável de sua qualidade. (Gomez; López; Nieto, 2019).

Com relação ao parâmetro pH, o dos solos de cultivo de Anapurus foi de 5,6 em cultivo sob sistema orgânico evidenciando baixa acidez, enquanto em Mata Roma foi de 5,0, caracterizando média acidez do solo (Tabela 1). O pH do solo é um dos principais indicadores da qualidade do solo e desempenha um papel crucial na determinação do estado geral do ambiente do solo, desse modo, é um indicador chave da qualidade do solo, pois influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana, a toxicidade de elementos, a estrutura do solo e o funcionamento do ecossistema do solo (Smith; Johnson, 2021). Monitorar e manter um pH adequado do solo é essencial para promover um ambiente de solo saudável e sustentável para o crescimento das plantas e a saúde do ecossistema.

Uma das características químicas de destaque, especialmente na região de Anapurus, é a alta concentração de fósforo nos solos cultivados tanto em sistemas orgânicos, com $172,1 \text{ mg L}^{-1}$, quanto em sistemas convencionais apresenta $175,2 \text{ mg L}^{-1}$, (Tabela 1). De acordo com Raij, Andrade, Quaggio (2001), teores de fósforo de até 120 mg L^{-1} são considerados altos e satisfatórios para obter altas produtividades de hortaliças. O aumento dos níveis de fósforo no solo pode induzir à fixação de zinco, tornando-o menos disponível para as plantas. Esse fenômeno é especialmente comum em solos ácidos, onde a fixação de zinco é mais pronunciada (Frossard *et al.*, 2000)

Em áreas suscetíveis à erosão, pode ocorrer contaminação dos corpos d'água, além de um aumento significativo nos custos de produção. Em relação ao município de Mata Roma, os níveis de fósforo nos solos, tanto em sistemas orgânicos com $40,53 \text{ mg L}^{-1}$ quanto em sistemas convencionais de cultivo $83,03 \text{ mg L}^{-1}$, estão dentro da faixa de média, conforme indicado para hortaliças (Raij; Andrade; Quaggio, 2001). Isso pode ser atribuído à menor intensidade de cultivo do solo e à menor aplicação de fertilizantes.

Os teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} foram considerados elevados em ambas as regiões avaliadas (Tabela 1). Entretanto, ao analisar o equilíbrio entre as bases na composição da CTC nos solos de Anapurus, nota-se que tanto no sistema de cultivo orgânico quanto no convencional, a relação Ca/Mg foi de 3 e 5, considerada adequada para o cultivo (Primavesi, 2006). Por outro lado, a relação Ca/K calculada foi de 15 e 20 sob sistema orgânico e convencional, respectivamente, valores que, segundo a mesma autora, estão acima do ideal. Em Mata Roma, observa-se um padrão semelhante para a relação de Ca/K em ambos os sistemas, também excedendo o ideal. Os altos níveis de Ca no solo podem resultar na precipitação do P, formando fosfato tricálcico, altamente insolúvel, e afetar a absorção de outros cátions (Devinny; Solomon, 2019).

As consequências adversas do desequilíbrio de nutrientes no solo também foram registradas nas plantações de melão por Miranda e Miranda (1997) em certos solos calcários encontrados nos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, os quais eram irrigados com água que continha uma alta



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior,
Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto,
Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

quantidade de Ca^{2+} e com doses elevadas de K_2O . Nessas situações, foi observada uma escassez de K^+ para as plantas devido à competição inibitória pela absorção de K^+ causada pelos elevados níveis de Ca^{2+} presentes no solo. Em contrapartida, concentrações elevadas de Ca^{2+} e K^+ podem restringir a absorção de Mg^{2+} , limitando sua movimentação da raiz para a parte aérea da planta, resultando em sua deficiência. Isso ocorre porque K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} competem pelos mesmos locais de absorção na raiz, sendo que o cátion mais abundante na solução do solo é preferencialmente absorvido em detrimento dos outros. Além disso, teores elevados de cátions monovalentes na solução do solo podem induzir a deficiência de cátions divalentes, que são retidos de forma mais intensa pelo complexo de troca do solo (Malavolta; Vitt; Oliveira, 1997).

Na avaliação da condutividade hidráulica saturada dos solos (Chs), observou-se que os solos apresentaram uma percolação entre 170 e 450 mm h^{-1} (Tabela 2), classificada como muito boa (Lepsch, 1991). A condutividade hidráulica saturada do solo (Chs) é um parâmetro que expressa quão facilmente a água se desloca através das camadas do solo. Sua avaliação é crucial, uma vez que a movimentação da água no solo desempenha um papel vital na capacidade do solo de reter e transmitir a água para as plantas, influenciando diretamente na minimização da erosão causada pela água (Jiao *et al.*, 2020).

Tabela 2. Indicadores físicos do solo nas áreas testemunhas e de cultivos de propriedades orgânicas e convencionais nos municípios de Anapurus e Mata Roma, Maranhão, 2022-2023

Município	Tratamento	Chs (mm h^{-1})	CC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Pa	Rs (Kpa)	Ea (mm)
Anapurus	TSO	178,46	0,4	0,2	1036,33	4,3
	CSO	331,86	0,3	0,2	517,73	1,9
	TSC	343,26	0,3	0,2	1127,93	3,8
	CSC	297,96	0,3	0,2	439,53	1,6
Mata Roma	TSO	199,06	0,3	0,2	1352,03	3,7
	CSO	353,56	0,3	0,2	626,53	3,0
	TSC	249,56	0,3	0,2	1280,93	3,5
	CSC	447,36	0,3	0,2	561,43	2,6

Chs= condutividade hidráulica saturada do solo, CC= capacidade de campo, Pa= porosidade de aeração solo, RS= compactação do solo, Ea= estabilidade de agregados. Testemunha (T); Cultivo (C); Sistema Orgânico (SO); Sistema Convencional (SC)

No que diz respeito à característica conhecida como capacidade de campo (CC), que reflete a capacidade do solo de reter água, os valores foram bastante similares, situando-se entre 0,3 e 0,4 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, tanto em Anapurus quanto em Mata Roma, não se mostrando, portanto, um indicador eficaz neste caso. De maneira similar, a análise da porosidade de aeração (Pa) não revelou diferenças significativas entre os tratamentos nos dois municípios. Conforme observado por Jiao *et al.*, (2020) compreender as alterações quantitativas nos atributos físicos do solo fornecerá melhores indicadores de impacto ao comparar diferentes ecossistemas com o ecossistema natural.

Ao avaliar a compactação do solo (Rs), foi observado que a resistência aumentou gradualmente a partir de 10 cm de profundidade para todas as amostras coletadas, embora não



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior,
Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto,
Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

tenha ultrapassado 1400 KPa, um limite crítico que, de acordo com Silva *et al.*, (2021) indica dificuldade para as raízes das plantas penetrarem no solo (Tabela 2). No entanto, na região de Anapurus, tanto no sistema de produção orgânica quanto no convencional, a resistência do solo até 10 cm de profundidade foi menor que 520 KPa, sugerindo uma intensa perturbação do solo devido às práticas agrícolas adotadas.

Este fenômeno pode ser corroborado pelos baixos valores de estabilidade de agregados (Ea) encontrados nos solos cultivados nessa região, variando de 1,6 a 4,3 em Anapurus e de 2,6 a 3,7 em Mata Roma. Além disso, observa-se uma maior estabilidade de agregados nos solos sob sistema de produção orgânica em comparação com o sistema convencional, e uma maior estabilidade nos solos de referência em comparação com os solos cultivados (Tabela 2).

A atividade da desidrogenase do solo não demonstrou diferenças significativas entre os solos avaliados nas duas regiões, exibindo uma variação sensível de 6 a 8 μL de H/g solo (Tabela 3). Conforme observado por Zhu *et al.*, (2020) devido à sua relação com as atividades energéticas, a desidrogenase possui uma forte correlação com o carbono da biomassa, a respiração basal do solo e o carbono do solo, e, conseqüentemente, com a qualidade e ciclagem da matéria orgânica, destacando-se como um indicador confiável da atividade microbiana no solo. A biomassa microbiana do solo é definida como a fração viva da matéria orgânica, e além de servir como um reservatório de nutrientes, pode também atuar como um indicador sensível de mudanças no solo, revelando a vulnerabilidade da microbiota a interferências no sistema (Kibblewhit *et al.*, 2020).

Tabela 3 - Indicadores biológicos do solo nas áreas testemunhas e de cultivos de propriedades orgânicas e convencionais nos municípios de Anapurus e Mata Roma, Maranhão, 2022-2023

Município	Tratamento	Desid (μL de H/g solo)	Polis (mg/g solo)	Bm ($\mu\text{gC/g}$ solo)
Anapurus	TSO	6,0	4,1	972,0
	CSO	6,5	2,0	718,1
	TSC	5,6	3,9	1120,2
	CSC	5,8	2,9	751,6
Mata Roma	TSO	7,8	2,4	973,9
	CSO	8,3	2,0	704,9
	TSC	8,8	2,2	777,1
	CSC	6,2	2,4	682,1

Desidrogenase (Desid), conteúdo de polissacarídeo em carbono (Polis), carbono em biomassa microbiana (Bm). Testemunha (T); Cultivo (C); Sistema Orgânico (SO); Sistema Convencional (SC)

Mendes, Melloni e Melloni (2006) e Arantes, Melloni (2007) utilizaram uma ampla gama de indicadores de qualidade para avaliar diversos ecossistemas, demonstrando a notável sensibilidade microbiana à gestão do solo. Essa sensibilidade esteve sempre correlacionada com outros atributos físicos, químicos e a presença, bem como a variação da cobertura vegetal, em concordância com os achados de Pascual *et al.*, (2000) os quais destacaram a contribuição positiva desse fator biológico para a qualidade do solo.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior, Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto, Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

O empobrecimento do solo em matéria orgânica observado na maioria das propriedades em ambas as regiões pode ser atribuído à intensidade de uso do solo, resultando em uma degradação dos atributos físicos e químicos. Devido ao uso contínuo das áreas para cultivo e à prática quase inexistente de rotação de culturas ou descanso entre os cultivos, observa-se não apenas uma diminuição significativa no teor de matéria orgânica, mas também uma redução na atividade da biomassa microbiana. Além disso, em relação aos indicadores biológicos, os resultados obtidos não evidenciaram diferenças significativas entre os sistemas de manejo orgânico e convencional em ambas as microrregiões.

7. CONSIDERAÇÕES

A análise integrada dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo revelou uma tendência preocupante de empobrecimento da matéria orgânica nas regiões de Anapurus e Mata Roma, sob cultivo convencional, resultado direto da intensidade de uso do solo e práticas agrícolas inadequadas. A diminuição dos teores de matéria orgânica, principalmente em Anapurus, sugere uma degradação significativa dos atributos do solo, colocando em risco a sustentabilidade dos sistemas de produção. A falta de rotação de culturas e descanso entre os cultivos contribui para essa deterioração, resultando não apenas na redução da matéria orgânica, mas também na diminuição da atividade microbiana, essencial para a saúde do solo.

Além disso, a análise dos parâmetros químicos, como os altos níveis de fósforo em Anapurus em cultivo convencional, evidencia desequilíbrios nutricionais que podem afetar negativamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas e aumentar os riscos ambientais, como a contaminação dos corpos d'água. A elevada concentração de cálcio nos solos em sistema convencional de Mata Roma, também representa desafios, como a precipitação do fósforo e a competição entre nutrientes essenciais para as plantas. Esses resultados ressaltam a importância de práticas agrícolas sustentáveis e manejo adequado do solo para preservar sua qualidade e garantir a produtividade a longo prazo, destacando a necessidade de intervenções para reverter o processo de degradação observado.

REFERÊNCIAS

ARANTES, D.; MELLONI, R. Efeito da declividade em atributos bioquímicos de solos da Reserva Biológica da Serra dos Toledos, Itajubá-MG. *In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 14. Resumos. Itajubá: INIFEI. 2007. (CD-ROM).

BARDGETT, R. D.; VAN, D. P. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, v. 515, n. 7528, p. 505–511, 2014. <https://doi.org/10.1038/nature13855>

BAYER, C.; SCHNEIDER, N.G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia. *Ciência Rural*, v. 29, n. 1, p. 165-166, 1999.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior,
Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto,
Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

DEVINNY, J. S.; SOLOMON, D. Nutrient Interactions in Soil–Calcium and Phosphorus. **Advances in Agronomy**, v. 157, n. 1, p. 71-127, 2019. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.12.002>

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. (Embrapa- CNPS. Documentos, 1).

FRIGHET, O. R. T. S.; VALARINI, P. J.; SCHIAVINATO, R. J.; CAMPANHOLA, C.; SENA, M. M.; BALBINO, T. L.; POPPI, R. J. Análise integrada de sistemas de produção de tomateiro com base em indicadores edafobiológicos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n.1, p. 60-67, 2007.

FROSSARD, E.; BUCHER, M.; MACHLER, F.; MOZAFAR, A.; HURRELL, R. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 861-879, 2000. <https://doi.org/10.1002/1097-001020000515>

GOMEZ, J. A. C.; LÓPEZ, G. M. A.; NIETO, G. M. Soil Quality Assessment in Organic and Conventional Farming: A Review. **Agronomy**, v. 8, n. 8, p. 137, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy8080137>

HARTZ, T. K.; MITCHELL, J. P. Soil Organic Matter: A Source of Plant Nutrients and Soil Conditioner. **Plant Disease Management**, v. 1, n. 1, p. 1-20, 2018. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8402-9_1

JIAO, F.; WANG, R.; LUO, Y., WANG, L.; ZHAO, X.; ZHANG, C. Changes in soil properties along a chronosequence of natural vegetation restoration in the Loess Plateau, China. **Catena**, v. 1, n. 1, p. 194, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104758>

KIBBLEWHITE, M.; RITZ, K.; SWIFT, M.; ALVARO-FUENTES, J. Soil health in agricultural systems. **Soil Health and Intensification of Agroecosystems**, v. 1, n. 1, p. 15, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38943-0_1

KIEHL, E. J. Manual de Edafologia - Relação solo planta. **Agronômica Ceres**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 262, 1979.

LEPSCH, I. F. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. **Revista Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, n. 1, p. 175, 1991.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. p. 319.

MARTINEZ, C.; SALAM, M. U.; GONZALEZ, L. M.; PRADO, R. Evaluation of soil quality and land use change in Mediterranean agroecosystems. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 5, p. 1880-1893, 2021. <https://doi.org/10.1002/ldr.3745>

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá-MG. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 211-220, 2006.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Tecnologias**: Micorriza aumenta a produtividade das plantas e a eficiência dos insumos. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. Disponível em <http://www.cpac.embrapa.br/tecnologias/micorriza.html>

PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; MORENO, J. L.; ROS, M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, n. 1, p. 1877-1883, 2000.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL NO NORTE MARANHENSE
Gênesis Alves de Azevedo, Teonis Batista da Silva, Flávia Cartaxo Ramalho Vilar, Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior,
Lucianne Martins Lobato, Giselly Martins Lobato, Carlos Alberto Araújo Costa, James Ribeiro de Azevedo, Gerson Freitas Vieira Neto,
Heigla Márcia de Sousa Silva, Cyntia Airagna Fortes dos Santos, Ricardo Feitosa da Silva

PÉREZ-RODRÍGUEZ, P.; GÓMEZ-BRANDÓN, M.; FERNÁNDEZ-CALVIÑO, D.; INSAM, H.; DOMÍNGUEZ, J. Assessment of Soil Quality under Organic and Conventional Olive Orchards in Mediterranean Areas. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 248, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12010248>

PRIMAVESI, A. **Cartilha do solo**. São Paulo: Fundação Mokiti Okada, 2006. p. 118.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; QUAGGIO, J. A. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p. 285.

SILVA, A. B.; MORAES, M.; ROCHA, M. A.; SILVA, T. M. Impactos da compactação do solo na produtividade agrícola: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 7, p. 524-534, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p524-534/2021>

SMITH, D. L.; JOHNSON, C. R. The Importance of Soil pH: A Review of Recent Advances and Insights. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 6, p. 1296-1312, 2021. <https://doi.org/10.1002/saj2.20363>

ZHU, B.; CHENG, W.; LI, Y.; WU, F.; JIANG, H.; ZHANG, X. Changes in soil microbial community structure and function after afforestation depend on species and age: A case study in a subtropical alluvial island. **Science of the Environment**, v. 7, n. 19, p. 137, 2020.