

Avaliação das propriedades químicas do solo proveniente de efluente doméstico tratado no Semiárido Potiguar

A utilização de águas residuárias na produção agrícola é uma alternativa sustentável para a realidade da região Semiárida do Brasil. O experimento foi desenvolvido com o objetivo de avaliar quimicamente o solo após o uso de efluente doméstico tratado em área de capim irrigado por meio de sulcos. O experimento foi desenvolvido no Projeto de Assentamento Milagre, em Apodi, RN. Escolheu-se uma área de mata nativa, como área de referência (AR), ausente do lançamento de efluente; e uma área cultivada com capim elefante, irrigada com efluente doméstico tratado. As amostragens para avaliação do solo ocorreram durante o período seco e após o período chuvoso. Para cada período, foram coletadas 24 amostras no camalhão de cultivo e 55 nos sulcos de irrigação (SUL). As amostras foram coletadas nas duas áreas, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm e de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80, servindo para preparação de amostras compostas. Na área nativa (NAT) adotou-se o procedimento para avaliar os parâmetros físico-químicos, metais pesados (Mn, Fe, Zn, Cu, Ni e Pb) e matéria orgânica como indicadores de qualidade do solo. Realizou-se uma coleta aleatória, totalizando 20 amostras simples nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm. Constatou-se que as concentrações de nitrogênio total, P, K, Ca, Na, Mg, e matéria orgânica tiveram seus teores elevados quando comparados com a AR, não foi detectada a presença de metais pesados na área irrigada.

Palavras-chave: Impacto ambiental; Reuso; Irrigação.

Evaluation of soil properties from treated effluent in the semiarid region of Potiguar

The use of wastewater in agricultural production is sustainable alternative to the reality of the semi-arid region of Brazil. The objective was to review a chemical soil by the use of treated wastewater. The experiment was conducted in the Settlement Project Miracle in Apodi, RN. It was chosen an area of native forest, missing the release of effluent; and an area cultivated with elephant grass irrigated with treated wastewater. Sampling for assessment of soil occurred during the dry period and after the rainy season. For each period, we collected 24 samples in ridge cultivation and 55 in irrigation furrows. The samples were collected at 0-20 cm and 20-40 cm and 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm and 60-80 cm respectively, serving for preparation of composite samples. In the native area adopted the random collection procedure totaling 20 single samples at depths of 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm and 60-80 cm. We assessed physical-chemical parameters, heavy metals (Mn, Fe, Zn, Cu, Ni and Pb) and organic matter such as soil quality indicators. It was found that the total nitrogen concentration, P, K, Ca, Na, Mg, and organic matter had their high levels when compared to RA, and was not detected the presence of heavy metals in the irrigated area.

Keywords: Environmental impact; Reuse; Irrigation.

Topic: Ciências do Solo

Received: 02/02/2022

Approved: 24/02/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Maria Alcilete Moraes 
Universidade Federal do Ceará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0542826993625621>
<http://orcid.org/0000-0001-5632-0546>
alcilenemoraes@gmail.com

Gleydson de Freitas Silva 
Universidade Federal Rural do Semiárido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2095571940640257>
<http://orcid.org/0000-0003-4217-9128>
freitas.gleydson@gmail.com

Luis César de Aquino Lemos Filho 
Universidade Federal Rural do Semiárido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3767200446774360>
<http://orcid.org/0000-0001-8527-2686>
lcafilho@ufersa.edu.br

Francisco Bruno Monte Gomes 
Universidade Federal do Ceará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7465761490808010>
<http://orcid.org/0000-0002-5703-627X>
bruno06gomes@gmail.com

Carlos Dias Chaym 
Faculdade das Américas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6683029597893399>
<http://orcid.org/0000-0002-8685-4650>
carlosdiaschaym@gmail.com

André Leone Facundo 
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6838742471808835>
<http://orcid.org/0000-0002-5869-6376>
andre.facundo@prof.ce.gov.br

Gerlânia Maria Rocha Sousa 
Universidade Federal do Ceará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1718482251358328>
<http://orcid.org/0000-0001-6778-1946>
gerlaniarocha@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0003

Referencing this:

MORAIS, M. A.; SILVA, G. F.; LEMOS FILHO, L. C. A.; GOMES, F. B. M.; CHAYM, C. D.; FACUNDO, A. L.; SOUSA, G. M. R.. Avaliação das propriedades químicas do solo proveniente de efluente doméstico tratado no Semiárido Potiguar. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.2, p.28-40, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0003>

INTRODUÇÃO

O manejo inadequado de efluentes após a aplicação pode causar alterações no solo quando aplicadas indiscriminadamente, como constatado por Bosco et al. (2008) quando analisaram e perceberam alterações químicas em Latossolo Roxo distroférico na região oeste do Paraná, decorrentes da aplicação de águas residuárias de suinocultura durante oito anos consecutivos, na taxa de 99 m³ha⁻¹ por ano. Os resultados evidenciaram que a aplicação aumentou a concentração de cálcio, magnésio e fósforo no solo, de 641,3 mg L⁻¹ para 1242,5 mg L⁻¹ na camada de 0-30 cm, enquanto a concentração de magnésio aumentou de 243,1 para 449,7 mg L⁻¹. A concentração de fósforo, que antes da aplicação da água residuária de suinocultura (ARS) era de 33,7 mg L⁻¹ na camada de 0-30 cm e 3,8 mg L⁻¹ na camada de 30-60 cm, aumentou para 51,1 mg L⁻¹ (0-30 cm) e 5,4 mg L⁻¹ (30-60 cm), respectivamente.

Quando aplicados no solo, os resíduos líquidos são tratados por meio de processos físico-químicos e biológicos; porém, se aplicado em dosagens elevadas podem causar diversos efeitos negativos, entre eles: poluição das águas superficiais e subterrâneas; salinização do solo; poluição do solo, das plantas por metais pesados; efeitos prejudiciais à estrutura e macroporosidade do solo, além da contaminação do homem e de animais por agentes patogênicos presentes nesses resíduos (MATOS, 2007).

Hespanhol (2003) afirmava que as concentrações e substâncias tóxicas fixadas, principalmente de metais pesados em esgotos domésticos é baixa. Nesse sentido, os principais agentes poluidores das águas receptoras de esgotos domésticos são a matéria orgânica e seus constituintes, principalmente o nitrogênio, o fósforo e os microrganismos patogênicos (HIRATA, 2000; VON SPERLING, 2005).

De acordo com Blum (2003), quando a água possui turbidez elevada há indícios de teores elevados de sólidos suspensos que podem abrigar microrganismos. Visando a preocupação com o consumidor e o agricultor, percebe-se o quanto é pertinente o monitoramento da turbidez e o controle da proliferação desses microrganismos. A aplicação de água de reuso no solo pode provocar danos em suas propriedades físicas e químicas, gerando avarias não apenas para a cultura, mas também poderá causar degradação do solo e danos ao meio ambiente.

O nível de fertilidade de um solo é avaliado por um conjunto de propriedades químicas: pH (acidez ativa), matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio + hidrogênio (acidez potencial), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases; e outros, de acordo com Reichardt et al. (2004). Fiori et al. (2007) ressaltaram que o reuso da água tem ótimos resultados nas condições estruturais do solo diminuindo a compactação e, em contrapartida, aumentando sua capacidade de aeração. Já Baumgartner et al. (2007) confirmaram alterações químicas no solo, porém proporcionais às características das águas utilizadas. A presente pesquisa tem como objetivo avaliar as propriedades químicas do solo pelo uso de efluente doméstico tratado.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na unidade experimental de reuso da água pertencente ao Projeto de

Assentamento Milagre, no município de Apodi/RN, situado a 100 km de Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5°35'22" de latitude sul e 37°54'09" de longitude oeste.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo BSw'h', caracterizado por ser muito quente, seco e salubre, tendo predominância do clima semiárido, inserido no bioma caatinga. A temperatura máxima é de 37° C e mínima de 21° C, com períodos chuvosos variando de janeiro a julho e seco de julho a dezembro. Os meses em que ocorrem as maiores precipitações são março a abril, com média anual oscilando em torno de 600 e 700 mm.

O tratamento do esgoto no assentamento é uma iniciativa de um projeto de Pesquisa executado pela UFERSA e financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, por meio do edital MCT/CNPq/CT – AGRONEGÓCIO/CTHIDRO – Nº 27/2008 sob o título “Tratamento e viabilidade do uso de águas residuária domésticas em assentamento rural e suas implicações na irrigação de frutas, hortaliças e forragens”.

O Assentamento Milagre é composto por 30 famílias totalizando em média 89 pessoas morando na comunidade os quais dispõe de rede coletora e interceptora de esgoto, além de uma estação para tratamento preliminar e primário do esgoto doméstico bruto. O solo do local foi classificado como argissolo vermelho amarelo (EMBRAPA, 2013).

Todo o processo da pesquisa para a área experimental ocupou duas áreas de 150 m². Para compor as avaliações escolheu-se uma área de mata nativa, ausente do lançamento de efluente, servindo como área de referência (AR); e uma área cultivada com capim elefante irrigada por sulcos no cultivo irrigado (CI) com efluente doméstico tratado, com área de 8×15 m.

As amostras foram coletadas no período de fevereiro a abril e de julho a setembro de 2012. Para avaliação do solo as amostras foram secas ao ar, desterroadas e passadas em peneiras de malha com abertura de 2 mm e acondicionadas em potes plásticos até o procedimento de análises.

As coletas ocorreram em dois momentos: durante e após as chuvas. Para cada período, foram coletadas 79 amostras simples de solo em uma parcela de 150 m², sob irrigação por sulcos, sendo 24 no camalhão de cultivo (fileira de planta) e 50 nos sulcos de irrigação (entre linhas), próximas aos locais das amostras coletadas no camalhão. Foram preparadas amostras compostas de duas profundidades (0-20 cm, 20-40 cm) no camalhão de cultivo com capim, e no sulco de irrigação (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm).

Na mata nativa adotou-se o procedimento de coleta aleatória, totalizando 20 amostras simples (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm). Para todas as amostras compostas, foram avaliados indicadores de qualidade físico-químicas. No Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA foram determinados o pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), nitrogênio total cálcio, magnésio, fósforo (P), sódio (Na), potássio (K), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e matéria orgânica do solo (MO). No que se refere aos atributos físicos, realizou-se análise granulométrica, determinadas a partir de proporções de areia grossa, areia fina, silte e argila.

Os valores médios dos atributos químicos do solo das diferentes profundidades das áreas de

referência da caatinga (PL, SUL e NAT) foram interpretadas mediante a utilização de análises multivariadas, análise fatorial (AF) e análise de agrupamentos (AA).

Os atributos utilizados foram mensurados em unidades de medidas diferentes, sendo necessária a padronização dos dados, visto que, tanto a AF quanto à AA é influenciada pelas unidades de medidas dos atributos em questão. Após a padronização dos dados, foi estabelecida a matriz de correlação com o intuito de verificar o percentual de correlações significativas entre as variáveis e qual a relevância dessas correlações com as análises posteriores.

A AF foi realizada utilizando-se o método de extração por componentes principais. Além disso, o número de fatores a ser extraído foi estabelecido de forma a explicar acima de 70% da variância total dos dados. Com o intuito, também, de maximizar a variância dentro de cada fator, adotou-se o método de rotação Varimax e estabeleceu-se o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas. A partir das cargas fatoriais dos atributos químicos estudados, a AF calcula os valores (escores) para os diferentes tratamentos, permitindo assim a correlação destes escores e as cargas fatoriais com os fatores, contribuindo assim, com a disposição e a interpretação dos pontos no plano fatorial. A AA foi realizada com base nos atributos com maior poder de discriminação, visando agrupar as áreas e, ou camadas que mais se assemelham no comportamento de determinados atributos. Para representar os agrupamentos, foram construídos dendogramas utilizando a distância euclidiana como medida de dissimilaridade e o método de Ward como algoritmo de agrupamento.

Para os valores médios dos atributos químicos do solo nas diferentes profundidades das áreas de referência da caatinga (PL, SUL e NAT) foram interpretadas mediante a utilização de análises multivariadas, análise fatorial (AF) e análise de agrupamentos (AA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o tratamento da área de referência e para o sulco do plantio, as profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, apresentaram classificação textural franco-argilo-arenosa, apresentando a mesma tendência de diminuição das frações areia e silte e aumento da argila. Na profundidade de 20-40 cm e 60-80 cm, a classificação é argilosa.

Para a densidade das partículas (Tabela 1), não houve grande amplitude de variação entre as profundidades, bem como, entre os tratamentos, possivelmente justificada em função da elevada estabilidade que este atributo apresenta; isto é, não se modifica com o manejo adotado, apresentando valores entre 2,28 a 2,44 kg dm⁻³.

Os dados referentes à caracterização química do solo constam nas Tabelas 1 e 2. O pH do solo é um dos fatores que mais influencia a disponibilidade de nutrientes às plantas; valores ótimos de pH variam entre 6,0 e 6,5; nesta faixa ocorre a disponibilidade máxima de macronutrientes, bem como limita-se a disponibilidade máxima dos micronutrientes e se reduz a acidez do solo que é uma das principais limitações da produção agrícola (MALAVOLTA, 2006).

Os valores de pH dos solos nas diferentes profundidades estudadas no período chuvoso encontram-

se dentro das faixas de 6,14 a 6,77, o que não difere do período seco que foi de 6,09 a 6,81, sendo classificados agronomicamente como bom e alto, respectivamente (Tabelas 1 e 2). A literatura apresenta relatos tanto de aumento quanto de redução dos valores de pH decorrente da aplicação de água residuárias de distintas naturezas no solo; tais alterações estão associadas a composição e a dose do efluente (FERREIRA et al., 2003; SILVA et al., 2004; MEDEIROS et al., 2005).

Os valores de condutividade elétrica do efluente nas profundidades avaliadas no período chuvoso não diferem do período seco, ambos variaram de 4,0 dS m⁻¹ a 5,0 dS m⁻¹ no plantio, de 2 dS m⁻¹ a 4 dS m⁻¹, na mata nativa, e apresentaram valores de 1,0 dS m⁻¹ no sulco de irrigação, não havendo alteração para o período seco avaliado, conforme pode-se constatar na Tabela 1 e 2. Provavelmente, esses valores foram obtidos em decorrência da aplicação diária do efluente, com manutenção contínua de umidade no perfil do solo.

Os maiores valores de condutividade elétrica foram verificados nas profundidades do plantio; esse aumento de salinidade mais evidente na camada superficial do solo foi observado em função dos seguintes fatores: evaporação na superfície do solo, levando ao acúmulo de sais; exposição do subsolo à contínua lixiviação e substituição dos sais na periferia da zona úmida, a qual normalmente tem apresentado aumento na concentração de sais (AYERS et al., 1999).

Esses resultados diferem dos obtidos por Fonseca (2001), que ao estudar as alterações nas características químicas do solo irrigado com esgoto doméstico tratado, constatou um incremento na condutividade elétrica do solo em razão da aplicação do efluente. Resultados diferentes também foram encontrados por Costa (2012), que constatou maiores valores da condutividade elétrica nas camadas mais superficiais do solo.

A concentração de cálcio teve tendência de aumento em todas as profundidades, evidenciando, assim, a lixiviação desse elemento químico. Os teores de 2,08 a 3,41 e 2,75 a 3,90 mg dm⁻³ nas primeiras profundidades da área do plantio e do sulco, respectivamente, no período chuvoso; ambos permitem classificar o solo com boa fertilidade (2,41 a 4,0 cmol_c dm⁻³), sendo que o mesmo ocorreu no período seco na área do plantio e na área do sulco, apresentando respectivamente teores de 3,08 mg dm⁻³ para 2,18 e 4,45 a 3,05 mg dm⁻³, que foram se diferenciando de >4,00 cmol_c dm⁻³. Os resultados obtidos da área do sulco que foi > 4,00 cmol_c dm⁻³ no período seco, também foram semelhantes nas áreas nativas nos dois períodos.

Mendonça et al. (1994) demonstraram que pequenas variações dos teores de cálcio no solo podem ocorrer em função da baixa concentração do cálcio na água residuária ou pela maior retenção de cálcio pela matéria orgânica. O acréscimo ou decréscimo deste elemento está diretamente relacionado à concentração na água residuária aplicada, à concentração absorvida pelas plantas e à lixiviação no perfil do solo (MEDEIROS et al., 2005).

Verificou-se teores variando entre 2 a 3,57 mg dm⁻³ de magnésio nas profundidades analisadas, na área de plantio (Tabela 1 e 2). Estes teores encontram-se dentro da faixa recomendada para maioria dos cultivos agrícolas (superior a 1,50 cmol_c dm⁻³), conforme as recomendações da CFSEMG (1999). Porém, observou-se redução dos teores, em média de 50% em ambas as áreas no período seco.

Entre as áreas anteriores observou-se um aumento nos teores magnésio entre 4,2 a 7,1 e 3 a 5 cm^3 , na área nativa dos dois períodos, respectivamente, e uma redução desses teores para 5,88 a 3,30 cm^3 , nas profundidades do solo de um período para o outro (Tabela 1 e 2); esse aumento provavelmente seja originário da formação solo.

No trabalho desenvolvido por Erthal et al. (2010), as concentrações de magnésio no solo aumentaram com o tempo de aplicação de água residuária da bovinocultura.

Com relação ao potássio constatou-se a lixiviação em todas as profundidades e que a concentração de potássio na área do sulco foi superior em relação às outras áreas, devido ser uma área alagada com o efluente tratado. De acordo com CFSEMG (1999), os teores de potássio permitem classificar agronomicamente como um solo médio de 41 a 70 mg dm^{-3} , exceto nas áreas do plantio e da área nativa, que apresentou teores entre 37,77 a 29,61 e 18 a 30,33 mg dm^{-3} , respectivamente. O potássio é considerado um elemento relativamente móvel no solo e sua a lixiviação pode acarretar a contaminação das águas subterrâneas. No entanto, no período seco, que concentra maior demanda do efluente tratado, houve um aumento significativo nos teores de potássio.

Quanto ao sódio no solo, foram encontrados teores entre 16,52 e 54,42 mg dm^{-3} na área do plantio, já nas áreas do sulco, e na nativa houve valores menores, porém não ocorreu acúmulo progressivo, enfatizando os problemas de sodificação ao longo do tempo com a disposição dos esgotos no solo. Já no período seco houve redução significativa nas profundidades da área do sulco e da área da referência dos teores de sódio.

Em relação ao nitrogênio, notou-se que houve alterações significativas de concentração nas profundidades da área do plantio, provavelmente devido ao tempo de aplicação do efluente. Já para a profundidade do sulco, não foi evidenciado efeito significativo, exceto na profundidade 0 a 10 cm, enquanto que na área nativa constatou-se teores de nitrogênio semelhantes ao do plantio nas primeiras camadas superficiais do solo.

No período seco houve redução do nitrogênio na área do plantio, em relação ao período chuvoso; contudo, houve um aumento de 50% dos teores desse elemento nas duas primeiras profundidades da área do sulco, onde houve maior concentração do efluente. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Costa (2012), que constatou maiores valores de nitrogênio nas camadas de solo mais superficiais.

O cultivo com água residuária proporcionou aumento significativo de matéria orgânica nas primeiras camadas do perfil solo, na área do plantio e na área de referência, nas profundidades de 0 e 20 cm e 0 a 10 cm, respectivamente. As razões disso se devem a diversos fatores, dentre eles, ao manejo de plantio direto, o não revolvimento do solo, ao logo dos anos de cultivo, a umidade baixa, a temperatura alta, bem como à elevada carga de matéria orgânica expressada pela DBO do esgoto lançado no solo por vários anos. Paganini et al. (2004), avaliando o sistema de tratamento de esgoto sanitário na disposição do solo e produção de gramíneas para alimentação animal, observou que em 17 anos de operação do sistema, acumulou-se 13,1% de matéria orgânica na profundidade de 0 a 20 cm do solo.

Os teores de matéria orgânica diminuíram em função do aumento da profundidade do solo em todos

os sistemas adotados (plantio, sulco e nativa) em ambos os períodos; entretanto, em relação ao período seco e chuvoso, houve um aumento de 9,12 g kg⁻¹ para 11,91g kg⁻¹ nas duas primeiras profundidades da área do plantio, e de 8,59 g kg⁻¹ para 28,51 g kg⁻¹ da área do Sulco no período seco, durante o qual houve mais lançamento do efluente. Possivelmente esses resultados ocorreram em função da camada mais superficial do solo ser a mais rica em matéria orgânica. Segundo Lima et al. (1994), a adição de resíduos orgânicos proporciona maior disponibilidade de matéria orgânica ao solo.

Na área nativa houve perdas significativas no período chuvoso de 10,72 g kg⁻¹ a 9,79 g kg⁻¹ para 1,17 g kg⁻¹ a 0,48 g kg⁻¹ nas duas últimas profundidades em relação ao período seco em matéria orgânica. Possivelmente esse resultado seja devido à forte intensidade de chuvas, que causaram a lixiviação da matéria orgânica.

Os teores de fósforo se reduziram com o aumento da profundidade do solo (Tabela 1); devido à baixa mobilidade desse elemento químico ter tendência de concentração na profundidade de 0 a 20 cm como ocorreu nas áreas do sulco e do plantio, devido ao acúmulo de água residuária, constatou-se, ainda, maiores teores de fósforo devido ao maior aporte de fósforo fornecido pela água residuária. Nesse sentido, Pereira (2009) explica que os detergentes e produtos de limpeza incrementam fósforo na água residuária de origem doméstica. Pelos resultados da pesquisa, durante o período chuvoso e seco, percebeu-se que houve um aumento de 8,73 para 7,86 mg dm⁻³ no período chuvoso para 18,04 a 17,62 mg dm⁻³ na área do plantio no período seco (Figure 2) e de redução de P na área do sulco em função do aumento da produtividade.

Tabela 1: Características químicas do solo com aplicação da água residuária no período chuvoso.

Camada do perfil do solo (m)	pH	CE	N g/mL	MO	P	K ⁺ mgdm ³	Na ⁺ mg dm ⁻³	Ca ²⁺ mg dm ⁻³	Mg ²⁺ mgdm ⁻³
		dSm ⁻¹	gkg ⁻¹	mg dm ⁻³					
Plantio									
0-20	6,55	5	1,39	9,12	8,73	37,77	54,42	2,08	3,33
20-40	6,34	4	1,22	7,79	7,86	29,61	16,52	3,41	2,93
Sulco									
0-10	6,77	1	1,12	8,69	56,21	67,03	12,98	2,75	3,75
10-20	6,61	1	0,91	5,08	37,86	63,56	4,64	3,90	2,95
20-40	6,28	1	0,28	4,83	5,65	63,03	3,68	3,70	2,05
40-60	6,34	1	0,11	3,56	3,82	51,16	2,49	3,05	2,45
60-80	6,14	1	0,07	2,08	2,52	46,69	1,54	2,55	1,85
Nativa									
0-10	6,36	3	1,68	1,17	3,72	30,33	12,98	4,00	7,10
10-20	6,36	2	1,47	0,89	3,34	27,35	11,55	4,50	5,50
20-40	6,26	3	0,42	0,62	1,32	26,36	9,64	4,20	5,20
40-60	6,31	4	0,19	0,46	1,06	20,41	4,40	4,00	5,00
60-80	6,17	3	0,14	0,48	0,81	18,42	0,35	2,70	4,20

Tabela 2: Características químicas do solo com aplicação da água residuária no período seco.

Camada do perfil do solo (cm)	pH	CE	N	MO	P	K ⁺ mg dm ⁻³	Na ⁺ mg dm ⁻³	Ca ²⁺ mg dm ⁻³	Mg ²⁺ mg dm ⁻³
		dSm ⁻¹	g/mL	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				
Plantio									
0-20	6,09	5	0,53	11,91	18,04	53,81	49,22	3,08	1,66
20-40	6,52	4	0,38	4,41	17,62	44,17	39,16	2,18	1,35
Sulco									
0-10	6,18	1	2,10	28,51	38,36	75,75	5,51	4,45	2,90
10-20	6,42	1	1,68	21,01	37,69	71,71	4,25	4,00	2,55
20-40	6,12	1	0,28	15,22	10,77	71,71	4,00	4,45	1,95
40-60	6,78	1	0,21	7,39	7,41	66,67	3,75	3,25	1,80

60-80	6,45	1	0,14	3,00	1,73	65,06	3,24	3,05	0,75
Nativa									
0-10	6,63	3	1,68	10,72	4,02	25,13	6,90	4,00	5,8
10-20	6,71	2	1,47	9,75	3,58	25,1	4,75	4,5	5,6
20-40	6,53	3	1,19	4,61	3,39	18,75	4,08	3,45	4,6
40-60	6,58	4	0,42	2,79	3,27	15,76	3,13	3,25	3,7
60-80	6,81	3	0,14	2,79	2,52	14,5	2,59	3,05	3,3

Pode-se verificar, pelo constante nas Tabelas 3 e 4, que os valores de cobre nas profundidades do plantio foram reduzidos de $0,98 \text{ mg dm}^{-3}$ para $0,96 \text{ mg dm}^{-3}$; já no tratamento feito na área nativa, os valores passaram de $0,83 \text{ mg dm}^{-3}$ para até $0,45 \text{ mg dm}^{-3}$. Por outro lado, no tratamento da área do sulco houve redução dos valores em função do aumento da profundidade, com valores passando de $0,58 \text{ mg dm}^{-3}$ na profundidade de 0 a 10 cm para 10 a 20 cm, o que também ocorreu na profundidade de 60 a 80 cm.

Constatou-se que houve diminuição do teor de cobre; em relação ao período seco houve uma redução insignificante em todas as áreas. Não se observou grandes variações no valor médio do cobre entre os tratamentos das áreas avaliadas. Ressalta-se que esses valores foram inferiores o limite de 60 mg kg^{-1} estabelecido pela Resolução CONAMA nº 420/2009 para prevenção da contaminação quanto à presença de substâncias químicas.

Os teores de ferro apresentam valores máximos de $9,6 \text{ mg dm}^{-3}$ na primeira profundidade do perfil na área do sulco, e uma redução significativa nas áreas do plantio e na nativa para o período chuvoso. No período seco, o valor máximo foi de $10,07$ a $9,7 \text{ mg dm}^{-3}$. Entretanto, na área do sulco reduziu para $0,8$ a $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$. A aplicação da água residuária de origem doméstica não incrementou os teores de ferro nas distintas profundidades do solo.

Quanto aos teores de manganês para as profundidades estudadas (plantio, sulco e nativa) houve diminuição dos valores nas maiores profundidades do solo. Os teores de manganês decresceram com as profundidades, devido à baixa mobilidade deste elemento no solo, sendo que os maiores valores foram encontrados no período chuvoso.

Nas áreas do Plantio e do sulco notou-se valores de Mn entre $39,40 \text{ mg dm}^{-3}$ e 45 mg dm^{-3} e $17,1 \text{ mg dm}^{-3}$ e $38,7 \text{ mg dm}^{-3}$ nas profundidades de 20 a 40 cm, respectivamente. Deve-se observar que os elevados teores de manganês no solo não foram acumulados pela aplicação da água residuária de origem doméstica, mas que existem naturalmente devido às condições geológicas locais.

Já para os teores de zinco no solo observou-se que, nas áreas do plantio, foi obtido o mesmo valor independentemente da profundidade estudada no período chuvoso e aumento acima de 50% em relação ao seco. Para as profundidades da área do sulco, o maior valor do nutriente foi obtido na profundidade de 40 a 60 cm; para o tratamento da área nativa o maior teor de zinco foi obtido na profundidade de 10 a 20 cm do solo.

Secco (2007), estudando a mobilidade do zinco em solo que recebeu doses de lodo de esgoto urbano tratado, verificou a baixa mobilidade deste elemento e concluiu a não necessidade de se analisar profundidades maiores que as superficiais. A redução na disponibilidade do cobre, zinco e manganês podem ser relacionados ao aumento no teor de matéria orgânica (STEVENSON et al., 1972).

Tabela 3: Características químicas do solo com aplicação da água residuária no período chuvoso.

Camada do Perfil do Solo (cm)	Cu	Fe	Mn	Zn
Plantiomg dm ⁻³			
0-20	0,98	7,8	45,00	0,58
20-40	0,96	6,9	39,40	0,56
Sulco				
0-10	0,58	9,6	38,7	0,46
10-20	0,31	8,3	20,7	0,08
20-40	0,33	7,3	17,1	0,08
40-60	0,24	7,3	15,4	0,01
60-80	0,20	5,9	14,4	0,01
Nativa				
0-10	0,83	6,6	13,3	0,39
10-20	0,71	4,3	12,8	0,19
20-40	0,62	3,4	11,5	0,08
40-60	0,54	2,9	9,6	0,08
60-80	0,45	2,5	3,9	0,01

Tabela 4: Características químicas do solo com aplicação da água residuária no período Seco.

Camada do Perfil do Solo (cm)	Cu	Fe	Mn	Zn
Plantiomg dm ⁻³			
0-20	0,93	10,7	11,4	1,49
20-40	0,71	9,7	9,10	1,32
Sulco				
0-10	0,66	0,8	4,9	0,09
10-20	0,64	0,5	3,6	0,06
20-40	0,64	0,4	1,7	0,05
40-60	0,62	0,3	1,3	0,05
60-80	0,61	0,1	1,2	0,04
Nativa				
0-10	0,79	5,7	13,8	2,58
10-20	0,56	5,1	10,8	1,39
20-40	0,3	2,8	9,8	1,31
40-60	0,25	2,5	3,4	0,98
60-80	0,22	1,5	0,21	0,14

Na Tabela 5 observa-se o resumo da AF, destacando-se os fatores obtidos em cada área de manejo, as cargas fatoriais submetidas ao método de rotação varimax, os autovalores e a percentagem de explicação da variância de cada fator. Com base no critério citado anteriormente, optou-se por fixar o número de fatores baseado no percentual de explicação da variância acumulada, sendo este estabelecido a valores superiores a 80%.

Tabela 5: Fatores extraídos por componentes principais para as variáveis químicas do solo.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3
pH	0,86	0,37	-0,05
CE	-0,53	0,79	0,00
N	0,39	0,75	-0,41
Mo	0,65	0,49	0,54
P	0,91	0,02	0,00
K	0,85	-0,34	0,32
Na ⁺	0,09	0,87	0,27
Ca ²⁺	-0,07	-0,19	-0,85
Mg ²⁺	-0,24	0,34	-0,85
Cu	-0,08	0,96	-0,21
Fe	0,88	0,17	0,32
Mn	0,55	0,70	0,44
Zn	0,34	0,91	0,07
Autovalores	5,91	4,00	1,77
%Variância	45,44	30,76	13,59
A. Acumulado	5,91	9,91	11,67

% cumulativa 45,44 76,19 89,79
 pH_{H2O} - em água; CE - condutividade elétrica do extrato de saturação; MO-Matéria orgânica; P- Fósforo; K⁺ - Potássio; Na⁺ - Sódio; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺- Magnésio; Cu-Cobre; Fe- Ferro; Mn- Manganês; Zn- Zinco.

Os dois primeiros fatores foram responsáveis por autovalores que explicam, respectivamente, 45,44% e 30,76% da variância total dos dados; ou seja, 76,50% da variância total dos dados. No primeiro fator (F1), os atributos que apresentaram maior carga fatorial foram potenciais hidrogeniônico (pH) do solo, matéria orgânica, fósforo, potássio e ferro. Enquanto, no segundo fator (F2): condutividade elétrica, nitrogênio, sódio, cobre e manganês, foram os únicos atributos que contribuíram significativamente para a formação deste.

Na Figura 1 estão representados os grupos formados pelo comportamento semelhante dos atributos químicos nas diferentes profundidades estudadas. O dendograma de agrupamento mostra a formação de oito grupos com características semelhantes entre si. Considerando somente os atributos químicos relevantes nos três fatores, realizou-se a AA, levando-se em conta as diferentes áreas de manejo e as diferentes profundidades. O grupo (1) foi formado pela profundidade 60-80 cm da área nativa (NAT); o grupo (2) pelas profundidades 0 a 10 cm; 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm da área nativa (NAT); o grupo (3) foi formado por duas áreas nas profundidades de 0 a 10 cm da área nativa (NAT) e 60 a 80cm de profundidade da área do sulco (Sul); o grupo (4) foi formado isoladamente pelas profundidades 20 a 40 cm da área sulco (SUL); o grupo (5) foi formado isoladamente pela profundidade 10 a 20 cm; na área do sulco (SUL). O grupo (6) foi formado isoladamente pela área do sulco (SUL) na profundidade 0 a 10 cm. O grupo (7) foi formado isoladamente pela profundidade de 20 a 40 cm e na área plantio (PL). O grupo (8) foi formado isoladamente na profundidade de 0 a 20 cm da área do plantio (PL).

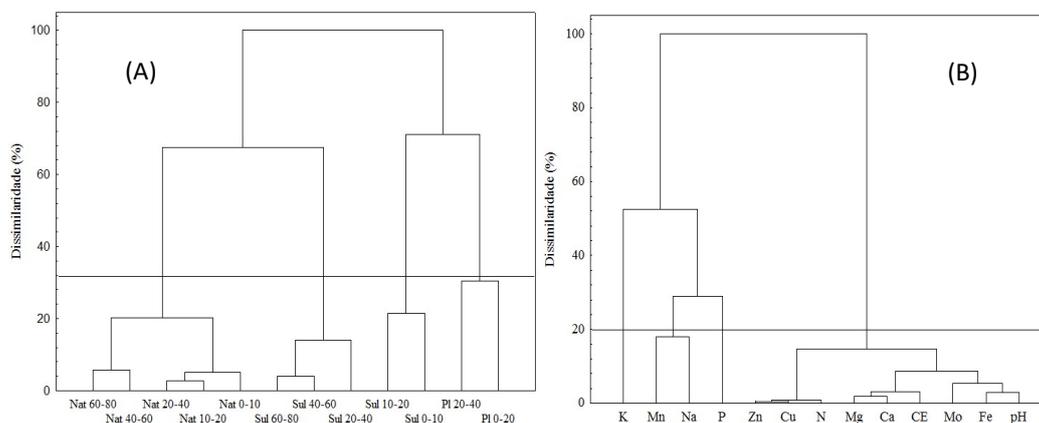


Figura 1: Dendograma de agrupamento entre as variáveis e profundidades estudadas ao longo do perfil do solo.

Análise estatística das características químicas ao longo do perfil do solo no período seco

Na Tabela 6 observa-se o resumo da AF, destacando-se os fatores obtidos em cada área de manejo, as cargas fatoriais submetidas ao método de rotação varimax, os autovalores e a percentagem de explicação da variância de cada fator. Com base no critério citado anteriormente, optou-se por fixar o número de fatores baseado no percentual de explicação da variância acumulada, sendo este estabelecido a valores superiores a 80%.

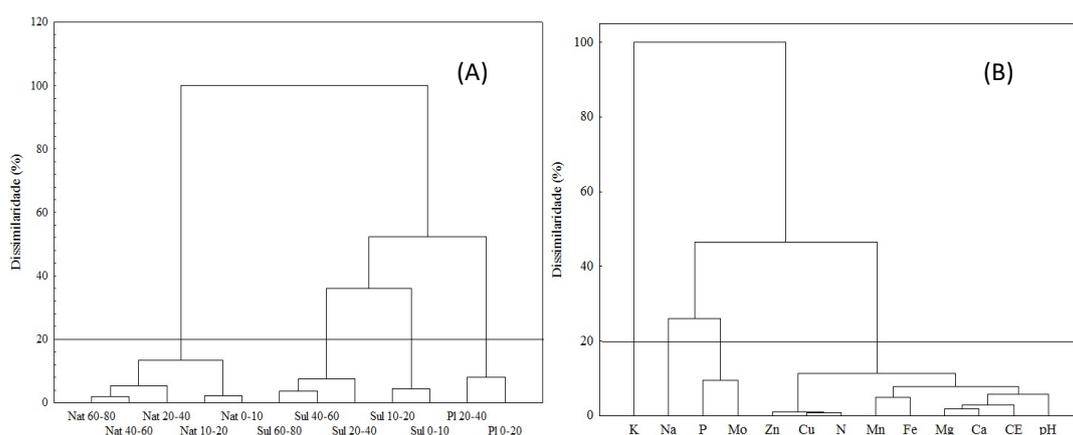
Tabela 6: Fatores extraídos por componentes principais para as variáveis químicas do solo.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3
pH	-0,09	-0,81	0,01
CE	0,83	-0,24	-0,31
N	0,13	0,25	0,91
MO	-0,19	0,76	0,58
P	-0,10	0,82	0,25
K	-0,42	0,86	-0,10
Na ⁺	0,76	0,44	-0,45
Ca ²⁺	-0,30	0,20	0,84
Mg ²⁺	0,28	-0,55	0,78
Cu	0,41	0,76	0,03
Fe	0,96	0,12	-0,18
Mn	0,89	0,01	0,40
Zn	0,89	-0,27	0,29
Autovalores	4,63	3,79	3,01
%Variância	35,65	29,16	23,14
A. Acumulado	4,63	8,43	11,43
% cumulativa	35,65	64,81	87,95

pH_{H2O} - em água; CE - condutividade elétrica do extrato de saturação; MO-Matéria orgânica; P-Fósforo; K⁺ - Potássio; Na⁺ - Sódio; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺- Magnésio; Cu-Cobre; Fe- Ferro; Mn- Manganês; Zn- Zinco.

Os dois primeiros fatores foram responsáveis por autovalores que explicam, juntos, 35,65% e 29,16% da variância total dos dados (64,81%). No primeiro fator (F1), os atributos que apresentaram maior carga fatorial foram: condutividade elétrica, sódio, ferro, manganês e zinco, sendo estes considerados mais importantes dentro do fator. Enquanto no segundo fator (F2), pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, e cobre, foram os únicos atributos que contribuíram significativamente para sua formação.

Na Figura 2 estão representados os grupos formados pelo comportamento semelhante dos atributos químicos nas diferentes profundidades estudadas. O dendograma de agrupamento mostra a formação de seis grupos com características semelhantes entre si. Considerando somente os atributos químicos relevantes nos cinco fatores, realizou-se a AA, levando-se em conta as diferentes áreas de manejo e as diferentes profundidades.

**Figura 2:** Dendograma de agrupamento entre as variáveis e profundidades estudadas ao longo do perfil do solo.

O grupo (1) foi formado pela área em profundidades de 0,40 a 0,60 cm; 0,60 a 0,80 cm na área nativa (NAT). O grupo (2) foi formado pelas profundidades de 0,0 a 0,10 cm e de 0,20 a 0,40 cm na área nativa (NAT). O grupo (3) foi formado por duas áreas distintas, na profundidade 0,0 a 0,10 cm na área nativa (NAT) e nas profundidades de 0,40 a 0,60 m e de 0,60 a 0,80 m na área do sulco. O grupo (4) foi formado pelas

profundidades de 0,10 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m da área do sulco (SUL). O grupo (5) foi formado por duas áreas distintas, no plantio (PL) na profundidade de 0,20 a 0,40 m, e na área sulco (SUL) na profundidade de 0,0 a 0,10 m. O grupo (6) foi formado isoladamente pela área do plantio na profundidade 0,0 a 0,20 cm.

CONCLUSÕES

O potássio lixiviou em todas as profundidades e a concentração do elemento na área do sulco foi superior em relação às outras áreas; Quanto ao sódio no solo, foram encontrados teores menores nas áreas do sulco e da nativa; O teor de matéria orgânica foi maior nas primeiras camadas do perfil solo; Os teores de fósforo foram reduzidos com o aumento da profundidade do solo.

REFERÊNCIAS

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W.. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999.

BLUM, J. R. C.. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F.; PHILIPPI JUNIOR, A.. **Reúso de Água**. Barueri: Manole, p.49,2003.

BOSCO, T. C.; LOST, C.; SILVA, L. N.; CARNELLOSI, C. F.; EBERT, D. C.; SCHREINER, J. S.; SAMPAIO, S. C.. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola - Estudo de caso. **Revista Irriga**, v.13, p.139-144, 2008.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420/2009**: Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto a presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento e diretrizes para o gerenciamento ambiental de área contaminadas por substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: CONAMA, 2009.

CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais 5ª aproximação**. Viçosa: 1999.

COSTA, Z. V. B.. **Uso de esgoto doméstico primário em um argissolo cultivado com Milho no assentamento Milagre, Apodi-RN**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.467-477, 2010.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A.. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.755-763, 2003.

FIORI, M. G. S.; SMANIOTTO, A.; MALMANN, L.; DIETER, J.; SAMPAIO, S. C.; NOBREGA, L. H.. Modificações na densidade

do solo cultivado com milho frente ao uso de água residuária da suinocultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36. **Anais**. Bonito: SBEA, 2007.

FONSECA, A. F.. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

HESPANHOL, I.. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F.. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p.37-95.

HIRATA, R.. Recursos hídricos. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F.. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p.568.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C.. **Conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004.

LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C.; EDUARDO, B. J. F. P.; CERRI, C. C.. Conteúdo de carbono e biomassa microbiana em agroecossistemas: Comparação entre métodos de preparo do solo. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v.1391, p.297-302, 1994.

MALAVOLTA, E.. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, p.631, 2006.

MATOS, A. T.. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: AEAGRI, 2007.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A.. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.603-612, 2005.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L.. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sobre cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.295-303, 1994.

PAGANINI, W. S.; SOUZA, A.; BOCCHIGLIERI, M. M.. Avaliação do comportamento de metais pesados no Tratamento de

esgotos por disposição no solo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.9, p.225-239, 2004.

PEREIRA, B. F. F.. **Alterações químicas no sistema solo-planta irrigadas com efluente de esgoto tratado no cultivo dos citros**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.

SECCO, R. C.. **Fitodisponibilidade de zinco, cobre, cromo e níquel de lodo de esgoto (N-viro soil) e de dejetos de suínos aplicados superficialmente a latossolos vermelho sob plantio direto**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

STEVENSON, F. J.; ARDAKANI, M. S.. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINSDSAY, W. L.. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science of América, 1972. p.79-114.

SILVA, F. F.; FREITAS, P. S. L.; BERTONHA, A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; DALLACORT, R.. Impacto da aplicação de efluente maturado de fecularia de mandioca em solo e na cultura do sorgo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.26, n.4, p.421-427, 2004.

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo horizonte: UFMG, 2005.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749cce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157607590731972609/>