

ESTADO NUTRICIONAL DA PIMENTA MALAGUETA IRRIGADA COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS NO SEMIÁRIDO¹

Mateus Pessoa Caminha¹, Cícero Luiz Câmara Júnior², Felipe Ferreira Coelho³, Rafael Oliveira Batista⁴, Stefeson Bezerra de Melo⁵, Luís César de Aquino Lemos Filho⁶

RESUMO: A escassez hídrica e a poluição por resíduos líquidos são desafios no semiárido brasileiro. O reúso de águas residuárias tratadas (ART) surge como alternativa viável na agricultura. Este trabalho avaliou o estado nutricional da Pimenta Malagueta (*Capsicum L.*) irrigada com diferentes proporções de ART e água de poço (AP). O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), em Apodi-RN, sendo montado em blocos casualizados com cinco tratamentos (de T1 a T5, variando de 100% ART a 100% AP) e cinco repetições. Analisaram-se os nutrientes N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Mn e Zn nas folhas das plantas. Utilizaram-se análises multivariadas (componentes principais, agrupamento e fatorial). O tratamento T3 (50% ART e 50% AP) mostrou perfil nutricional semelhante ao T5 (100% AP). A análise fatorial destacou dois grupos: um com macronutrientes (N, P, Ca²⁺, Mg²⁺) e outro com micronutrientes (Fe, Mn), com Zn de pouca influência. O N ultrapassou o recomendado (exceto em T5), o K⁺ manteve-se adequado, e P, Ca²⁺ e Mg²⁺ ficaram acima da faixa ideal. Os micronutrientes permaneceram dentro dos limites. O uso equilibrado de ART pode otimizar o manejo hídrico e nutricional no semiárido.

PALAVRAS-CHAVE: tecido vegetal. macronutrientes. micronutrientes.

¹ Mestrando em Manejo de Solo e Água, UFERSA, CEP 59625-900, Mossoró, RN. Fone (88) 9 9971-9974. e-mail: mateus.caminha@alunos.ufersa.edu.br.

² Pós-doutor em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Mossoró, RN.

³ Graduando em Agronomia, UFERSA, Mossoró, RN.

⁴ Prof. Doutor, Centro de Engenharias, UFERSA, Mossoró, RN.

⁵ Prof. Doutor, Depto de Ciências Exatas e Tecnologia da Informação, UFERSA, Angicos, RN.

⁶ Prof. Doutor, Centro de Engenharias, UFERSA, Mossoró, RN.

NUTRITIONAL STATUS OF CHILI PEPPERS IRRIGATED WITH WASTEWATER IN THE SEMI-ARID REGION

ABSTRACT: Water scarcity and liquid waste pollution are challenges in the Brazilian semi-arid region. The reuse of treated wastewater (TWW) emerges as a viable alternative in agriculture. This study evaluated the nutritional status of Malagueta Pepper (*Capsicum L.*) irrigated with different proportions of TWW and well water (WW). The experiment was conducted in the experimental area of the Federal Rural University of the Semi-Arid Region (UFERSA) in Apodi-RN, set up in randomized blocks with five treatments (from T1 to T5, ranging from 100% TWW to 100% WW) and five replicates. The nutrients N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Mn, and Zn were analyzed in the leaves of the plants. Multivariate analyses (principal components, clustering, and factorial) were used. Treatment T3 (50% TWW and 50% WW) showed a nutritional profile similar to T5 (100% WW). Factor analysis highlighted two groups: one with macronutrients (N, P, Ca²⁺, Mg²⁺) and another with micronutrients (Fe, Mn), with Zn having little influence. N exceeded the recommended level (except in T5), K⁺ remained adequate, and P, Ca²⁺, and Mg²⁺ were above the ideal range. Micronutrients remained within the limits. Balanced use of TWW can optimize water and nutrient management in the semiarid region.

KEYWORDS: vegetable tissue. macronutrients. micronutrients.

INTRODUÇÃO

A escassez hídrica no semiárido nordestino é uma das principais causas dos problemas socioeconômicos da região, marcada por longos períodos de estiagem que resultam em perdas agrícolas, desemprego rural, redução na oferta de água e migração para centros urbanos (Zanella, 2014). Esse quadro é ainda agravado pelas condições precárias de saneamento básico, que ampliam os desafios para a população local.

Um dos principais impactos do despejo de esgoto doméstico sem tratamento é a eutrofização dos corpos hídricos, causada pelo excesso de nutrientes como nitrogênio, fósforo e carbono, que promovem proliferação de algas e plantas aquáticas. A decomposição dessa biomassa compromete o equilíbrio do oxigênio dissolvido (Matos & Matos, 2017). Por outro lado, o reúso de águas residuárias tratadas na agricultura pode ser uma alternativa viável, especialmente durante a estiagem, contribuindo para a gestão integrada dos recursos hídricos,

embora ainda pouco explorada e regulamentada no semiárido brasileiro (Schaer-Barbosa et al., 2014).

A análise multivariada se refere a todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos sob investigação; dessa forma, qualquer análise simultânea com mais de duas variáveis pode ser considerada, a princípio, como multivariada (Hair Júnior et al., 2009).

Diante o exposto, objetivou-se com este trabalho analisar os efeitos da aplicação de diluições de água residuária doméstica tratada em água de poço no estado nutricional da pimenta malagueta empregando-se análise multivariada.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado com a cultura da pimenta malagueta no Projeto de Assentamento Rural Milagres, situado na Chapada do Apodi no município de Apodi no estado do Rio Grande do Norte (RN), sob as coordenadas geográficas 5° 35' 22'' S e 37° 54' 12'' W. O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo TA Eutrófico Típico (Santos et al., 2018). A classificação de Köppen indica que o clima da região é do tipo BSh, muito quente e semiárido, tendo precipitação pluviométrica média anual de 794 mm, temperatura média do ar de 26°C (Alvares et al., 2013).

O experimento foi montado utilizando o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) com cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas. As proporções de água residuária tratada (ART) e água de poço (AP) foram: T1 (100% ART), T2 (75% ART e 25% AP), T3 (50% ART e 50% AP), T4 (25% ART e 75% AP) e T5 (100% AP - testemunha). A cultura da pimenta malagueta foi cultivada com espaçamento de 1,0 m entre fileiras e 0,30 m entre plantas.

Apresentam-se, na Tabela 1, os valores médios dos atributos químicos da água residuária doméstica tratada e da água de poço utilizadas na irrigação da pimenta malagueta extraídos do trabalho de Dutra (2013).

Tabela 1. Valores médios de atributos químicos da água residuária doméstica tratada (ART) e da água de poço (AP) utilizadas na irrigação da pimenta malagueta.

Atributos	ART	AP
N (mg L ⁻¹)	35,25	NR
P (mg L ⁻¹)	1,02	NR
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	1,22	0,27
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,96	0,89
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,87	0,74
Fe (mg L ⁻¹)	0,42	0,21
Mn (mg L ⁻¹)	0,09	0,05
Zn (mg L ⁻¹)	0,097	0,13

Fonte: Adaptado de Dutra (2013).

Nota: NR – Não realizado.

Ao longo do período experimental foram realizadas quatro amostragens de água residuária doméstica tratada (ART) e da água de poço (AP). As amostras foram preservadas em caixa isotérmica com temperatura entre 4 e 6°C até a realização das análises químicas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP/UFERSA), segundo protocolos da EMBRAPA (Silva, 2009) e Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Baird et al., 2017), determinando N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Mn e Zn.

Aos 155 dias após o plantio, coletaram-se folhas da pimenta malagueta, armazenadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 h, realizando-se medição da biomassa seca a cada 24 h até atingir peso constante. As amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 40 mesh, visando à obtenção de material de pequena granulometria e homogêneo (Prado, 2008). Para a extração dos nutrientes do tecido vegetal (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Mn e Zn) utilizou-se a digestão empregando-se micro-ondas como fonte de calor e ácido nítrico na digestão da matéria seca (Ferreira, 2014).

Os dados de teores foliares foram submetidos à análise multivariada, empregando matriz de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), Análise de Componentes Principais (ACP), Análise de Agrupamento (AA) e Análise Fatorial (AF), utilizando o Software Statistica, versão 14.0 (Statsoft, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra a matriz de correlação dos dados de macronutrientes e micronutrientes no tecido vegetal da cultura da pimenta malagueta. Nessa tabela, destaca-se a alta correlação

significativa entre o elemento magnésio com cálcio, indicando que quando a concentração de um elemento desses aumenta a do outro também cresce. As menores correlações ficaram para os nutrientes cálcio e fósforo, potássio e fósforo e zinco e manganês, magnésio e fósforo e zinco e cálcio.

Tabela 2. Matriz de correlação linear simples de macro e micronutrientes.

	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	Zn
N	1,00							
P	0,09	1,00						
K ⁺	-0,78	-0,04	1,00					
Ca ²⁺	-0,78	0,06	0,80	1,00				
Mg ²⁺	-0,82	-0,04	0,63	0,95	1,00			
Fe	-0,19	0,26	0,62	0,10	-0,17	1,00		
Mn	0,34	-0,58	0,13	-0,29	-0,46	0,40	1,00	
Zn	-0,67	-0,22	0,38	0,07	0,16	0,33	-0,09	1,00

Nota: Números em vermelho, são valores significativos no nível de significância à 0,05 (teste bicaudal).

Fonte: Dados da pesquisa do autor (2022).

Na Figura 1A está apresentada a distribuição de variáveis, no círculo de correlações representando a relação entre os componentes principais 1 e 2 do tecido vegetal da cultura da pimenta malagueta, enquanto na Figura 1B consta a distribuição dos tratamentos no plano representando a relação entre os componentes principais 1 e 2 do tecido vegetal da mesma cultura.

No círculo de correlações (Figura 1A) constatou-se que os elementos manganês, ferro, zinco e potássio estão na parte superior do plano cartesiano, enquanto na parte inferior estão os elementos nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio.

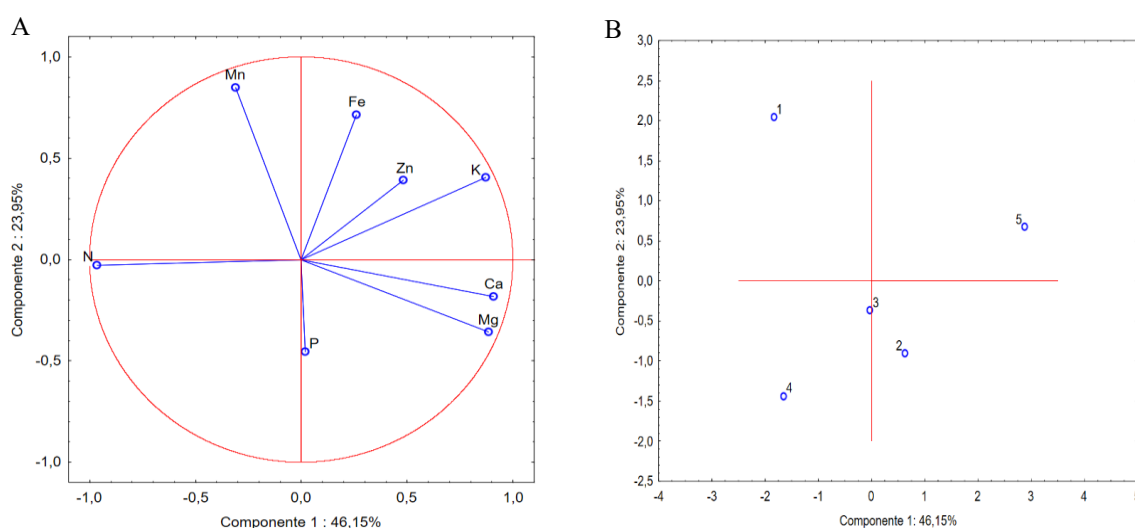


Figura 1. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição dos tratamentos no plano (B), representando a relação entre as Componentes 1 e 2.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para o componente 1 que explica 46,15% da variação total destaca-se o nitrogênio no limite do círculo de correlação contra os elementos cálcio e magnésio no lado oposto, significando que estes elementos tem comportamento antagônico. Já para o componente 2 tem-se 23,95% de explicação da variação total dos dados, onde se sobressaem as variáveis ferro e manganês. Já os elementos zinco e fósforo não tiveram efeito relevante no tecido vegetal da pimenta malagueta.

O nitrogênio apresentou efeito expressivo no tecido foliar, corroborando com os resultados encontrados por Ribeiro (2020) que trabalhou com pimenteiros irrigadas com esgoto sanitário tratado. A aplicação de água residuária respondeu positivamente na cultura da pimenta malagueta, com efeito relevante de micronutrientes e macronutrientes, resultados que corroboram, também, com os apresentados por Oliveira et al. (2014) em seu estudo com pimenteiros produzidas com biofertilizantes líquidos.

No plano apresentado na Figura 1B, pode-se verificar que os tratamentos estão representados com os números 1, 2, 3, 4 e 5. O T1 se apresenta ligado ao elemento manganês com tendência a ter alto valor. Os tratamentos T2, T3 e T4 tendem a ter valores altos para o elemento fósforo e baixos principalmente para manganês e ferro. T5 está ligado especialmente aos elementos zinco e potássio, enquanto possui baixos valores para nitrogênio.

Quanto à extração de nutrientes do tecido vegetal, no que tange aos macronutrientes pode-se constatar, em relação ao nitrogênio, os tratamentos T1, T2, T3 e T4 apresentaram valores superiores aos encontrados na literatura, segundo Trani & van Raij (1997) e apenas T5 apresentou valor dentro da faixa recomendada, enquanto o potássio apresentou em todos os seus tratamentos valores dentro da faixa recomendada. Fósforo, cálcio e magnésio apresentaram comportamento semelhante em todos os tratamentos tendo valores superiores aos da faixa recomendada, e os micronutrientes (ferro, manganês e zinco) estiveram dentro da faixa indicada (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de macro e micronutrientes das folhas da pimenta malagueta fertirrigada com doses de água residuária doméstica e respectivo padrão do estado nutricional.

Tratamentos	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹				
T1	55,64	10,43	36,18	71,58	56,36	132,35	204,07	33,31
T2	45,06	10,72	37,26	104,96	89,28	98,23	136,12	24,21
T3	50,31	13,33	37,68	93,92	72,34	137,96	122,96	25,82
T4	62,83	14,30	39,29	87,10	79,93	116,23	112,24	40,57
T5	34,88	13,55	48,64	127,00	107,02	160,58	144,53	56,65
Padrão ⁽¹⁾	30-45	3-7	30-50	15-35	3-12	50-300	30-250	30-100

Nota: (1) Trani e van Raij (1997).

Na Figura 2 está apresentado o dendrograma vertical da análise de agrupamento de macro e micronutrientes no tecido vegetal da pimenta malagueta por meio da distância euclidiana utilizando o método de Ward. No dendrograma dessa figura, procede-se a leitura seguindo da direita para esquerda, no qual o eixo das ordenadas, representado por “y”, indica as distâncias entre os grupos formados e no eixo das abscissas “x”, representa os grupos juntos por ordem decrescente de semelhança (similaridade), em que a alta dissimilaridade indica que dois indivíduos são distintos e estão distantes em relação ao referencial e ao conjunto de dados. Ressalta-se que os grupos T1 a T5, representam os tratamentos.

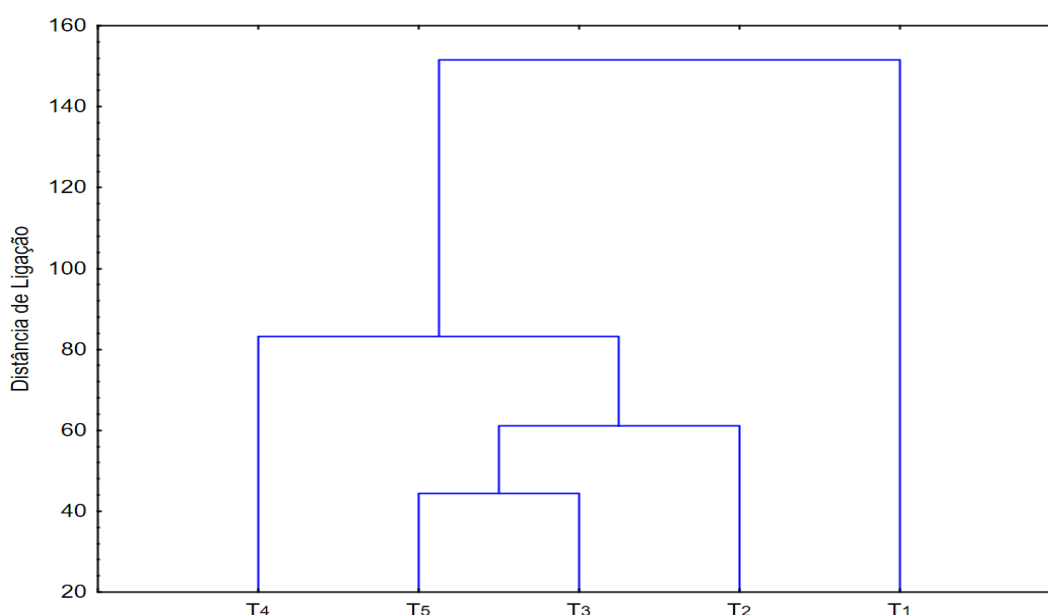


Figura 2. Dendrograma vertical da análise de agrupamento de macro e micronutrientes no tecido vegetal da pimenta malagueta por meio da distância euclidiana utilizando o método de Ward.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O dendrograma de agrupamento, indicou que o tratamento T1 é o mais distinto de todos. Os tratamentos T5, T3 e T2 mostram-se próximos e com afinidade. Já os tratamentos T1 e T4, mostram-se bem distantes, devido à baixa similaridade, em função provavelmente do percentual de água de poço de T4, que certamente interferiu nos teores de macro e micronutrientes foliares. Os tratamentos T1, T2 e T3 ligaram-se formando um grupo, devido aos percentuais de água de poço que podem ter influenciado na dinâmica de absorção de nutrientes, refletindo assim na afinidade quanto aos teores foliares de macro e microelementos. Fato semelhante ocorre nos tratamentos T3 e T5 que também se apresentam ligados, devido provavelmente ao efeito dos percentuais de água de poço. O tratamento T3 foi o que mais se aproximou da condição controle (T5).

Na Tabela 4 está apresentada a matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo método varimax, extraídos por componentes principais, destacando-se os macro e micro nutrientes com cargas superiores a 0,70.

Na análise fatorial, o Fator 1 explicou 46,15% da variação total dos dados, e o Fator 2 contribuiu com 23,95% da variabilidade. De acordo com o critério de Kaiser (1960), foram retidos apenas os dois fatores com autovalores superiores a 1,00, os quais, combinados, representam 70,10% da variância total acumulada. Esse percentual indica uma explicação satisfatória da estrutura dos dados.

Tabela 4. Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo método Varimax, extraídos por componentes principais, destacando-se os macros e micronutrientes com cargas superiores a 0,70 (em módulo).

Variáveis	Cargas Fatoriais	
	Fator 1	Fator 2
N	-0,96	0,05
P	0,03	0,45
K ⁺	0,86	-0,43
Ca ²⁺	0,91	0,16
Mg ²⁺	0,89	0,33
Fe	0,24	-0,72
Mn	-0,34	-0,84
Zn	0,47	-0,40
Autovalores	3,69	1,92
Variância Total (%)	46,15	23,95
Variância Total Acumulada (%)	46,15	70,10

Fonte: Dados da pesquisa do autor (2022).

Pode-se constatar que o nitrogênio, seguido de cálcio, magnésio e potássio apresentaram as maiores cargas fatoriais no Fator 1, indicando que esses elementos são responsáveis pela maior parte da variação encontrada nos cinco tratamentos. Em relação às cargas fatoriais do Fator 2, verificou-se que as maiores ocorreram para o manganês e o ferro que são micronutrientes, divergindo do Fator 1 onde os macronutrientes são os responsáveis pelas maiores cargas fatoriais.

CONCLUSÕES

A aplicação de diferentes proporções de água residuária doméstica tratada diluída em água de poço influenciou significativamente a absorção de macro e micronutrientes pela pimenta malagueta. O tratamento T3 (50% ART + 50% AP) apresentou comportamento

nutricional semelhante ao controle (T5), evidenciando o potencial do reúso agrícola em proporções equilibradas.

O nitrogênio destacou-se por seus altos teores na maioria dos tratamentos, enquanto o zinco apresentou baixa relevância quanto ao acúmulo foliar. A análise fatorial agrupou macronutrientes (N, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) e micronutrientes (Fe, Mn) em dois fatores distintos, permitindo melhor compreensão da variabilidade entre os tratamentos. Já a análise de agrupamento mostrou maior afinidade entre os tratamentos com diluições intermediárias.

Os resultados confirmam que o uso de água residuária tratada, em proporções adequadas, pode ser uma alternativa viável e sustentável para irrigação no semiárido, contribuindo para o manejo racional da água e o fornecimento de nutrientes às plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, 2013.
- Baird, R. B.; Eaton, A. D.; Rice, E. W. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23.ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2017. 1504p.
- Dutra, I. C. B. **Uso de água residuária de origem doméstica no cultivo da pimenta malagueta na região da Chapada do Apodi-RN**. Mossoró: UFERSA, 2013. 69p. Dissertação Mestrado.
- Ferreira, A. K. C. **Avaliação de métodos de análises químicas de nutrientes em tecido vegetal**. Mossoró: UFERSA, 2014. 88p. Tese Doutorado.
- Hair Júnior, J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2009. 688 p.
- Kaiser, H. F. **The Application of electronic computers to factor analysis**. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 141-151, 1960. doi:10.1177/001316446002000116.
- Matos, A. T.; Matos, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. 371 p.

Oliveira, J. R.; Gomes, R. L. F.; Araujo, A. S. F.; Marini, F. S.; Lopes, J. B.; Araujo, R. M. Estado nutricional e produção da pimenteira com uso de biofertilizantes líquidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.12, p.1241–1246, 2014.

Prado, R. M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: FUNESP, 2008.500 p.

Ribeiro, M. H. G. Avaliação do rendimento de culturas de Capsicum chinense Jacq. e Vigna unguiculata (L.) Walp. **submetidas a diferentes condições de adubação e lâminas de irrigação com esgoto sanitário tratado**. Recife: UFP, 2020. 62 p. Dissertação de Mestrado.

Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. Á.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araújo Filho, J. C.; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

Schaer-Barbosa, M.; Santos, M. E. P.; Medeiros, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17-32, 2014.

Silva, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627p.

Statsoft Inc. 2020. **Statistica: data analysis software system, version 14**. Tulsa. Disponível em <http://www.statsoft.com/>. Acesso em: 17 out. 2021.

Trani, P. E.; van Raij, B. Hortaliças. In: van Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. Cap. 18, p. 155-185.

Zanella, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.