



## II-381 – AVALIAÇÃO DO EFEITO DA APLICAÇÃO DE EFLUENTE TRATADO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO AMARELO DISTRÓFICO

**Kenia Kelly Barros**

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutora em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

**Clístenes Williams Araújo do Nascimento**

Professor Adjunto do Departamento de Agronomia. Laboratório de Fertilidade do Solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

**Savia Gavazza**

Professora Adjunta do Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, UFPE.

**Mario Takayuki Kato**

Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Saneamento Ambiental. Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE.

**Lourdinha Florencio<sup>(1)</sup>**

Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Saneamento Ambiental. Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA). Departamento de Engenharia Civil. Centro de Tecnologia e Geociências (CTG). Avenida Acadêmico Hélio Ramos s/n. Cidade Universitária. Recife, PE. CEP: 50740-530. Tel: (81) 2126-8742/8228. E-mail: flor@ufpe.br.

### RESUMO

Os efluentes tratados apresentam grande potencial de aplicação na agricultura, por possuírem elevados teores de nutrientes e matéria orgânica, capazes de melhorar as características químicas de solos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações químicas de um Argissolo Amarelo Distrófico, após aplicação de efluente doméstico tratado de um reator do tipo UASB, operando em escala real, tendo como base de estudo o aporte de nutrientes ao sistema solo-planta. O experimento foi conduzido na área de reuso de efluentes pertencente à Universidade Federal de Pernambuco, localizada na ETE Mangueira, em Recife – PE. Esta área dispõe de 24 lisímetros de drenagem, dos quais 12 foram submetidos aos tratamentos: irrigação com água de abastecimento (T1); irrigação com água de abastecimento mais aplicação de NPK (T2); irrigação com efluente (T3), irrigação com efluente mais aplicação de P (T4). O delineamento experimental aplicado foi inteiramente casualizado, com três repetições. O sistema de irrigação utilizado foi localizado por gotejamento e o manejo da irrigação foi realizado em turno variável através do monitoramento do potencial matricial da água no solo em tensiômetros. Os resultados mostraram que os tratamentos submetidos à irrigação com o efluente tratado (T2 e T3) apresentaram maiores acúmulos de nutrientes no solo. Os resultados também mostraram que os acúmulos de  $\text{Na}^+$  no solo não foram críticos e, portanto, não há perigo da ocorrência de sodicidade, uma vez que os valores de PST apresentaram-se abaixo do limite crítico ( $< 15\%$ ) e os valores de RAS não foram significativos entre os tratamentos, atingindo resultados entre 0,02 e 0,05 ( $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ )<sup>1/2</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluente Tratado, Solo, Reuso, Acúmulo de Nutrientes.

### INTRODUÇÃO

Atualmente, a agricultura depende do suprimento de água, de forma que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem que critérios inovadores de gestão sejam estabelecidos e implantados em curto prazo. Com base neste aspecto, o reuso consciente e planejado de águas de drenagem agrícola, salobras, de chuva e, principalmente, esgotos domésticos, pode constituir-se no mais moderno e eficaz instrumento de gestão dos recursos hídricos nacionais.

O tratamento de esgotos domésticos para posterior utilização na agricultura é uma atividade coerente com a proposta sustentável de gerenciamento de recursos hídricos, pois, proporciona economia de água de boa qualidade, impede a poluição provocada pelos esgotos e proporciona a fertilização do solo (Lima *et al.*, 2004).



Ao considerar os aspectos agrônômicos, o reuso de efluentes tratados, devido a sua composição química, disponibiliza nutrientes ao solo, como N, P, K, Ca, Mg e S, que são essenciais ao desenvolvimento das culturas. Além desses, também podem estar presentes nos efluentes tratados, mas em pequenas quantidades, alguns metais como o Fe, Cu, Zn e Mn, que são considerados micronutrientes para as plantas.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da fertirrigação com o efluente tratado de um reator tipo UASB, nas características químicas de um Argissolo Amarelo Distrófico.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A Estação Experimental está localizada na ETE Mangureira, em Recife – PE e dispõe de 24 lisímetros de drenagem, dispostos em delineamento inteiramente casualizado, para até 8 tratamentos e 3 repetições. Neste experimento, 12 lisímetros foram submetidos aos tratamentos descritos na Tabela 1. A planta teste foi a variedade de milho BR 5036 CMS 36 – Seleção IPA (Tabosa *et al.*, 1992), a qual foi irrigada com efluente do reator UASB e água de abastecimento.

O sistema de irrigação foi o localizado por gotejamento. O manejo da irrigação foi realizado em turno variável, mediante leitura de tensiômetros instalados no solo, a profundidades de 10, 30 e 50 cm. Sempre que a leitura da tensão encontrava-se no limite do ponto de murcha permanente (PMP; tensão de -15 atm), iniciava-se a irrigação das plantas até que a capacidade de campo (CC; tensões entre -0,05 e -0,33 atm) fosse atingida. O experimento teve início com o semeio da variedade de milho e foi conduzido até o final do ciclo da mesma, ou seja, 120 dias.

**Tabela 1: Tratamentos Avaliados**

TRATAMENTOS	DESCRIÇÃO
T1	Irrigação com água de abastecimento (Água)
T2	Irrigação com água de abastecimento + aplicação de NPK recomendado para a cultura (A+NPK)
T3	Irrigação com efluente tratado (Efluente)
T4	Irrigação com efluente + aplicação de P para complementar a exigência da cultura (E+P)

A aplicação de NPK seguiu as recomendações do IPA (1998) para adubação de milho irrigado em Pernambuco. Assim, foram aplicadas as seguintes quantidades de fertilizantes: 0,6 g de Sulfato de Amônio 20%/cova, no plantio, e 6 g de Sulfato de Amônio 20%/cova, em cobertura (após 45 dias da emergência das plantas); 3,9 g de Superfósforo Triplo 41%/cova e 0,7 g de Cloreto de Potássio/cova, no plantio, nas parcelas irrigadas com água de abastecimento. No caso das parcelas irrigadas com o efluente tratado, em virtude do mesmo fornecer quantidades suficientes de N e K para suprir as necessidades das plantas, fez-se apenas a adubação fosfatada (3,9 g de Superfósforo Triplo 41%/cova), para o tratamento T4. Esta dose de fertilizante adicionada foi calculada com base na concentração média do nutriente fornecida via efluente tratado e pela lâmina de irrigação proposta para o ciclo da cultura.

As amostras de solo foram coletadas em cada lisímetro, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Cada amostra de solo foi destinada à realização, de acordo com a EMBRAPA (1999), das seguintes análises químicas: pH, matéria orgânica (M.O), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), Fósforo Disponível (P), Potássio Trocável ( $\text{K}^+$ ), Cálcio Trocável ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnésio Trocável ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Sódio Trocável ( $\text{Na}^+$ ), Alumínio Trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), Acidez Potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Capacidade de Troca de Cátions Efetiva ( $\text{CTC}_e$ ), Relação de Adsorção de Sódio (RAS), Porcentagem de Sódio Trocável (PST%), Índice de Saturação por Bases (V%) e Índice de Saturação por Alumínio (m%). Antes da primeira aplicação do efluente tratado ao solo fez-se uma caracterização inicial, com a finalidade de obter informações sobre o solo inicial.

A cada turno de rega eram coletadas amostras de água de abastecimento e efluente tratado e com essas foram realizadas, conforme as metodologias descritas no *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995), as seguintes análises: pH, Nitrogênio (N-total e  $\text{N-NH}_4$ ), Sais, Temperatura,  $\text{P-PO}_4$ ,  $\text{P-P}_2\text{O}_5$ , K, Ca, Mg, Fe, Na e Condutividade Elétrica (CE).



## RESULTADOS

As Tabelas 2 e 3 mostram, respectivamente, a caracterização da água de abastecimento e do efluente tratado.

**Tabela 2: Caracterização da água de abastecimento**

PARÂMETROS (N=119 AMOSTRAS)	UNIDADES	VALORES MÉDIOS	DESVIO PADRÃO	CV%	ERRO DA MÉDIA
pH	-	6,9	0,27	4	0,02
Cond. Elétrica	μS/cm	655	96	15	9,0
Sais	-	0,10	0,02	19	0,0
Temperatura	°C	28	1,94	7	0,18
N-NTK	mg/L	0,74	0,0	27	0,0
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	-	-	-	-
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	0,17	0,11	64	0,01
P-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/L	-	-	-	-
K <sup>+</sup>	mg/L	5,60	0,33	6	0,03
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	25,87	3,61	14	0,33
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	9,93	2,01	20	0,18
Na <sup>+</sup>	mg/L	75,19	2,25	3	0,21
Fe <sup>2+</sup>	mg/L	0,22	0,07	33	0,01
RAS	(cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	1,47	-	-	-

**Tabela 3: Caracterização do efluente tratado**

PARÂMETROS (N=119 AMOSTRAS)	UNIDADES	VALORES MÉDIOS	DESVIO PADRÃO	CV%	ERRO DA MÉDIA
pH	-	6,8	0,33	5	0,03
Cond. Elétrica	μS/cm	1228	109	9	10,0
Sais	-	0,4	0,09	22	0,01
Temperatura	°C	29,0	1,87	0,7	0,17
N-NTK	mg/L	35,0	9	26	0,83
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	21,0	7	35	0,67
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	4,0	1,3	35	0,12
P-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/L	1,5	0,64	43	0,06
K <sup>+</sup>	mg/L	16,0	2,52	16	0,23
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	36,0	12,95	36	1,18
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	16,0	3,63	23	0,33
Na <sup>+</sup>	mg/L	135,0	12,83	9	1,17
Fe <sup>2+</sup>	mg/L	0,4	0,10	25	0,01
RAS	(cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	2,09	-	-	-

De acordo com os resultados obtidos na caracterização do efluente tratado (Tabela 3), este pode ser utilizado para a irrigação de culturas que serão processadas industrialmente, desde que o sistema de irrigação seja o localizado por gotejamento. Com relação às concentrações de nutrientes, segundo a WHO (2006), a adição de uma água residuária municipal com concentrações de N-total entre 20 e 85 mg/L ao solo não causa problemas de acidificação ao mesmo, comumente provocados por fertilizantes minerais.

Na Tabela 4 encontram-se descritos os aportes de nutrientes via fertilização mineral e efluente tratado nas fases do desenvolvimento da cultura. Os nutrientes fornecidos às plantas, por meio do efluente tratado, em maiores quantidades foram N e K, evidentemente, em virtude desses se encontrarem em maiores concentrações no efluente. Para facilitar o acompanhamento do desenvolvimento das plantas e as necessidades hídricas das plantas, o ciclo da cultura foi dividido de acordo com o método padrão (Boletins 24 e 56) da FAO (Mantovani *et al.*, 2006). Assim, o ciclo da cultura foi dividido em 4 fases (Tabela 4).


**Tabela 4: Aporte de nutrientes nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura**

FASES DO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO	IRRIGAÇÃO (DIAS)	LÂMINA (mm)	APORTE DE NUTRIENTES VIA FERTILIZAÇÃO MINERAL N – P – K (kg/ha)	APORTE DE NUTRIENTES VIA EFLUENTE N – P-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – K-K <sub>2</sub> O (kg/ha)
1	14	44	20 – 80 – 20	14 – 1 – 6
2	76	76	30 – 00 – 00	153 – 10 – 65
3	8	8	-	38 – 1 – 9
4	5	5	-	16 – 1 – 6

A descrição das fases são as seguintes: Fase 1 – vai da germinação até a cultura cobrir 10% da superfície do terreno, ou 10 a 15% do seu desenvolvimento vegetativo; Fase 2 – vai do primeiro estágio até a cultura cobrir 70 a 80% da superfície do terreno, ou atingir de 70 a 80% do desenvolvimento vegetativo; Fase 3 – vai do final do segundo estágio até o início da maturação; Fase 4 – vai do início da maturação até a colheita.

Os resultados da primeira caracterização do solo permitiram classificá-lo como um solo de baixa fertilidade, ao apresentar CTC inferior a 24 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> em todos os tratamentos e camadas estudados, e V% inferior a 50%, característico de um solo distrófico, nos tratamentos T1 (Água), T2 (A+NPK) (camada subsuperficial) e T3 (E+P) (camada superficial). Nos outros casos, os valores de V% permaneceram acima de 50%. Os valores de todos os parâmetros estão contidos nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 5: Caracterização inicial do solo (macronutrientes, matéria orgânica e CTC)**

TRATAMENTOS	ESTAT.	M.O. g/kg	N-NO <sub>3</sub> mg/kg	N-NH <sub>4</sub> mg/kg	P mg/dm <sup>3</sup>	K <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	CTC	CTC <sub>c</sub>
<b>0 - 20 cm</b>										
T1 (Água)	Média	<b>13,12</b>	<b>14,00</b>	<b>18,67</b>	<b>0,00</b>	<b>0,55</b>	<b>0,80</b>	<b>0,50</b>	<b>6,13</b>	<b>2,45</b>
	DesvPad	1,50	2,00	2,10	0,00	0,05	0,05	0,05	0,95	0,31
	CV (%)	11,43	14,29	11,25	-	9,09	6,25	10,00	15,50	12,65
T2 (A + NPK)	Média	<b>10,84</b>	<b>30,33</b>	<b>32,67</b>	<b>1,70</b>	<b>0,27</b>	<b>1,10</b>	<b>0,95</b>	<b>5,73</b>	<b>2,49</b>
	DesvPad	1,35	1,54	1,50	0,20	0,03	0,10	0,10	0,72	0,31
	CV (%)	12,45	5,08	4,59	11,76	11,11	9,09	10,53	12,57	12,45
T3 (Efluente)	Média	<b>12,55</b>	<b>25,67</b>	<b>25,67</b>	<b>1,10</b>	<b>0,58</b>	<b>1,75</b>	<b>1,00</b>	<b>6,06</b>	<b>3,71</b>
	DesvPad	0,97	2,12	2,00	0,10	0,05	0,20	0,10	0,44	0,59
	CV (%)	7,73	8,26	7,79	9,09	8,62	11,43	10,00	7,26	15,90
T4 (E + P)	Média	<b>21,39</b>	<b>30,33</b>	<b>35,00</b>	<b>2,80</b>	<b>0,37</b>	<b>1,25</b>	<b>0,85</b>	<b>5,46</b>	<b>2,73</b>
	DesvPad	1,47	1,51	1,48	0,30	0,04	0,07	0,05	0,60	0,30
	CV (%)	6,87	4,98	4,23	10,71	10,81	5,60	5,88	10,99	10,99
<b>20 - 40 cm</b>										
T1 (Água)	Média	<b>17,12</b>	<b>11,67</b>	<b>21,00</b>	<b>0,10</b>	<b>0,27</b>	<b>0,80</b>	<b>0,65</b>	<b>5,21</b>	<b>1,81</b>
	DesvPad	1,45	1,98	2,00	0,00	0,03	0,10	0,10	0,87	0,30
	CV (%)	8,47	16,97	9,52	0,00	12,59	12,50	15,38	16,70	16,57
T2 (A + NPK)	Média	<b>9,41</b>	<b>30,33</b>	<b>32,67</b>	<b>0,60</b>	<b>0,35</b>	<b>1,15</b>	<b>0,35</b>	<b>5,01</b>	<b>1,97</b>
	DesvPad	1,40	2,50	2,45	0,10	0,03	0,12	0,04	0,52	0,21
	CV (%)	14,88	8,24	7,50	16,67	8,57	10,43	11,14	10,38	10,66
T3 (Efluente) (E)	Média	<b>14,83</b>	<b>28,00</b>	<b>30,33</b>	<b>0,60</b>	<b>0,78</b>	<b>1,30</b>	<b>1,00</b>	<b>5,78</b>	<b>3,38</b>
	DesvPad	1,00	2,10	2,00	0,10	0,05	0,24	0,12	0,54	0,52
	CV (%)	6,74	7,50	6,59	16,50	6,41	18,46	12,00	9,34	15,38
T4 (E + P)	Média	<b>12,55</b>	<b>32,67</b>	<b>35,00</b>	<b>0,90</b>	<b>0,50</b>	<b>1,60</b>	<b>0,70</b>	<b>5,39</b>	<b>2,88</b>
	DesvPad	1,50	2,51	1,50	0,10	0,04	0,20	0,11	0,30	0,30
	CV (%)	11,95	7,68	4,29	10,89	8,00	12,50	15,71	5,57	10,42



Tabela 6: Caracterização inicial do solo (pH, acidez potencial, sodicidade e bases trocáveis)

TRATAMENTOS	ESTAT.	pH	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup>	SB	RAS	PST	V	m
			cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>				(cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	%		
0 - 20 cm										
T1 (Água)	Média	5,2	0,55	0,05	3,73	2,40	0,68	8,97	39,19	2,04
	DesvPad	0,4	0,08	0,00	0,47	0,35	0,10	1,40	5,00	0,20
	CV (%)	7,6	14,55	0,00	12,60	14,58	14,71	15,60	12,76	9,80
T2 (A + NPK)	Média	5,6	0,12	0,05	3,29	2,44	0,12	2,09	42,58	2,01
	DesvPad	0,5	0,02	0,00	0,37	0,30	0,01	0,24	5,00	0,18
	CV (%)	8,8	12,50	0,00	11,25	12,30	8,33	11,46	11,74	8,96
T3 (Efluente)	Média	7,5	0,34	0,05	2,40	3,66	0,29	5,61	60,43	1,35
	DesvPad	0,6	0,03	0,00	0,40	0,50	0,03	0,94	6,10	0,10
	CV (%)	7,9	8,82	0,00	16,67	13,66	10,34	16,75	10,09	7,41
T4 (E + P)	Média	6,5	0,20	0,05	2,79	2,68	0,20	3,66	48,99	1,83
	DesvPad	0,8	0,02	0,00	0,37	0,40	0,02	0,50	6,40	0,15
	CV (%)	12,1	10,00	0,00	13,26	14,93	10,26	13,65	13,06	8,20
20 - 40 cm										
T1 (Água)	Média	5,5	0,03	0,05	3,45	1,76	0,04	0,58	33,72	2,77
	DesvPad	0,3	0,01	0,00	0,50	0,23	0,01	0,10	2,00	0,41
	CV (%)	5,3	18,00	0,00	14,49	13,07	15,00	17,37	5,93	14,80
T2 (A + NPK)	Média	5,9	0,07	0,05	3,09	1,92	0,08	1,40	38,28	2,54
	DesvPad	0,4	0,01	0,00	0,47	0,30	0,01	0,14	5,10	0,41
	CV (%)	6,7	11,43	0,00	15,21	15,63	12,50	10,02	13,32	16,14
T3 (Efluente)	Média	7,4	0,25	0,05	2,46	3,33	0,23	4,33	57,50	1,48
	DesvPad	0,7	0,03	0,00	0,30	0,50	0,03	0,54	7,00	0,20
	CV (%)	9,4	12,00	0,00	12,20	15,02	13,04	12,48	12,17	13,51
T4 (E + P)	Média	6,9	0,03	0,05	2,55	2,83	0,03	0,56	52,61	1,73
	DesvPad	0,6	0,00	0,00	0,27	0,40	0,01	0,10	5,11	0,15
	CV (%)	8,6	15,00	0,00	10,59	14,13	16,67	17,97	9,71	8,67

A adição de resíduos ricos em substâncias orgânicas provoca o aumento do seu percentual nesse solo. Provavelmente seja por esta razão que a irrigação com efluente aumentou a porcentagem de matéria orgânica do solo em todos os tratamentos submetidos a esse tipo de irrigação, em comparação com os tratamentos irrigados com água de abastecimento, independentemente da camada estudada (Tabela 7).

A mineralização do N-orgânico do efluente tratado libera para a solução do solo íons inorgânicos de nitrogênio, como, por exemplo, o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Silva, 2009). Isto pode explicar o aumento dos seus teores no solo submetido à aplicação de efluente e corrobora o importante papel do efluente em fornecer esse macronutriente às plantas (Tabela 7). Deve-se observar, no entanto, que o N é um elemento muito móvel no solo e sua aplicação via efluente tratado deve ser adequadamente monitorada visando garantir não apenas a nutrição da planta, mas também a qualidade ambiental do meio.

Os teores de K<sup>+</sup> encontradas na camada de 0-20 cm são considerados de baixos a médios, permanecendo entre 0,05 (T1-Água) e 0,11 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (T3-Efluente). A respeito do P disponível, em quase todos os tratamentos os teores encontrados não ultrapassaram 0,05 mg/dm<sup>3</sup>, portanto, considerados muito baixos para suprir a demanda nutricional da cultura. A exceção ocorreu em T4 (E+P), que apresentou um teor de 0,14 mg/dm<sup>3</sup> (Tabela 7).

Quanto aos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis (Tabela 7), ao comparar os resultados com aqueles obtidos na caracterização inicial do solo (Tabela 5), verificou-se que esses não mostraram alterações consideráveis, e em praticamente todos os tratamentos houve uma pequena redução de valores. Isso provavelmente ocorreu pela lixiviação dessas bases em decorrência da lâmina aplicada e do teor de argila do solo relativamente baixo. Ao comparar os valores entre os tratamentos, aquele que apresentou teores mais altos de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, na camada de 0-20 cm, foi o tratamento T3 (Efluente) (1,6 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Ca<sup>2+</sup> e 1,0 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Mg<sup>2+</sup>). Na camada de 20-40 cm, o tratamento que mais se destacou foi T4 (E+P) (1,5 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Ca<sup>2+</sup> e 0,90 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Mg<sup>2+</sup>). Pode-se perceber ainda, que houve uma sensível alteração na relação Ca:Mg, com os teores de Ca<sup>2+</sup>



aumentando proporcionalmente mais que aqueles do  $Mg^{2+}$ . Isso claramente é devido à maior concentração de  $Ca^{2+}$  no efluente e exige monitoramento para manter esta relação adequada à nutrição vegetal.

Os valores encontrados na camada 0-20 cm para a CTC nos tratamentos T3 (Efluente) e T4 (E+P), foram maiores do que aqueles registrados nos tratamentos irrigados com água de abastecimento. O melhor resultado foi observado no tratamento Efluente (4,43 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), o qual é considerado médio, segunda a classificação agrônômica. Na camada de 20-40 cm, foi o tratamento E+P que registrou o melhor resultado (4,19 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>). Os melhores valores de CTCe foram registrados em E+P (camada de 20-40 cm) e Efluente (camada de 0-20cm) (Tabela 7).

**Tabela 7: Caracterização final do solo (macronutrientes, matéria orgânica e CTC)**

TRATAMENTOS	ESTAT.	M.O.	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P	K <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	CTC	CTC <sub>e</sub>
		g/kg	mg/kg	mg/dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					
0 - 20 cm										
T1 (Água)	Média	4,6	10,0	8,0	0,01	0,05	1,2	0,8	3,87	2,2
	DesvPad	0,65	0,95	0,53	0,00	0,01	0,1	0,01	0,9	0,2
	CV (%)	12,65	10,29	6,29	0,00	20,00	12,20	50,00	23,38	9,39
T2 (A + NPK)	Média	6,4	10,0	11,0	0,03	0,07	1,1	0,7	3,76	2,00
	DesvPad	0,70	7,35	7,08	0,01	0,01	0,10	0,00	0,51	0,11
	CV (%)	11,44	44,41	39,64	33,33	14,29	18,18	0,00	14,61	7,24
T3 (Efluente)	Média	6,5	15,0	21,0	0,03	0,11	1,6	1,0	4,43	2,70
	DesvPad	0,83	3,59	7,07	0,00	0,01	0,10	0,01	0,44	0,63
	CV (%)	12,15	10,59	24,11	0,00	9,09	12,50	33,33	11,43	29,03
T4 (E + P)	Média	6,7	12,0	20,0	0,14	0,07	1,2	0,7	3,60	2,00
	DesvPad	0,13	1,00	1,00	0,02	0,03	0,20	0,01	0,43	0,20
	CV (%)	1,71	2,81	3,49	40,00	42,86	29,85	50,00	11,26	7,25
20 - 40 cm										
T1 (Água)	Média	5,6	12,0	9,0	0,01	0,07	1,3	0,7	3,70	2,20
	DesvPad	1,95	1,00	2,10	0,00	0,03	0,17	0,07	1,00	0,97
	CV (%)	37,57	40,00	44,68	0,00	42,86	13,82	14,00	29,15	51,60
T2 (A + NPK)	Média	6,4	12,0	10,0	0,01	0,05	0,7	0,4	3,33	1,20
	DesvPad	2,86	2,02	1,23	0,01	0,02	0,19	0,18	0,22	0,30
	CV (%)	43,47	13,92	9,86	33,33	30,00	29,23	51,43	6,69	23,26
T3 (Efluente)	Média	6,5	25,0	11,0	0,01	0,05	1,2	0,6	3,63	2,00
	DesvPad	1,87	7,13	4,83	0,00	0,01	0,16	0,48	0,31	0,30
	CV (%)	27,22	41,21	34,90	0,00	11,11	13,01	77,42	8,40	14,85
T4 (E + P)	Média	6,5	24,0	15,0	0,01	0,07	1,5	0,90	4,19	2,60
	DesvPad	1,30	1,69	3,88	0,00	0,01	0,16	0,14	0,19	0,27
	CV (%)	18,23	8,62	27,95	0,00	12,50	17,39	20,00	5,56	15,25

A respeito do pH (Tabela 8), as modificações não foram muito significativas. Os valores registrados em quase todos os tratamentos foram considerados muito altos (pH > 7,0), segundo a classificação agrônômica da EMBRAPA (Freire, 2003), exceto os tratamentos A+NPK (pH = 5,5) e E+P (pH = 6,7), ambos na camada de 0-20 cm. No caso do tratamento A+NPK, isto ocorreu provavelmente por causa da adubação nitrogenada, que reduz o pH do solo devido à reação de nitrificação e conseqüente liberação de H<sup>+</sup>.

Quanto aos teores de Al<sup>3+</sup>, observou-se que os maiores teores ocorreram no tratamento A+NPK (0,13 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e 0,15 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente). Isto pode ter ocorrido provavelmente devido à diminuição do pH nesses tratamentos e subseqüente maior solubilização de alumínio. Nos outros tratamentos estudados, as modificações nos teores de Al<sup>3+</sup> não foram muito altas. Mesmos com os aumentos, os teores encontrados não são considerados prejudiciais ao desenvolvimento das culturas (Tabela 8).

Os teores de Na<sup>+</sup> encontrados no solo submetido à irrigação com o efluente tratado (Tabela 8), na camada 0-20 cm, foram relativamente maiores do que os resultados dos tratamentos irrigados com água de abastecimento, mas menores do que os valores do solo inicial (Tabela 6). No entanto, esses valores não são capazes de provocar problemas de sodicidade ao solo, uma vez que os mesmos estão muito abaixo do limite crítico (< 50



mg/dm<sup>3</sup>). Os valores de PST obtidos em todos os tratamentos estão muito distantes do limite de 15% estabelecido pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos para um solo ser considerado sódico. Logo, não parece haver risco de sodificação do solo nas condições experimentais estudadas.

A irrigação com o efluente tratado causou aumentos significativos nos valores de SB dos tratamentos Efluente (2,70 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, na camada de 0-20 cm), e E+P (2,50 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, na camada de 20-40 cm). Os aumentos nos resultados provavelmente foram devido à adição de cátions trocáveis via efluente tratado. Todos os valores encontrados para o índice de saturação por alumínio (m%) foram classificados como muito baixos (inferiores a 15%) e não representam perigo de toxidez às plantas. O índice de saturação por bases (V%) nos dá uma idéia da proporção de cátions trocáveis que são importantes no complexo de troca. Assim, quanto menor for o seu valor, maior será acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ), ou seja, solo será mais ácido e menos fértil. O valor de V(%) no tratamento Efluente, na camada superficial, foi maior do que os resultados obtidos nos demais tratamentos. Com relação ao solo inicial, só o tratamento A+NPK apresentou valores característicos de um solo distrófico (V < 50%). Os outros tratamentos mantiveram seus valores de V% médios ou bons (Tabela 8).

**Tabela 8: Caracterização final do solo (pH, acidez potencial, sodicidade e bases trocáveis)**

TRATAMENTOS	ESTAT.	pH	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	SB	RAS	PST	V	m
			cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			(cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>		%		
0 - 20 cm										
T1 (Água)	Média	7,50	0,04	0,05	1,77	2,10	0,04	1,00	54	2,30
	DesvPad	0,53	0,2	0,02	0,2	0,32	0,01	0,23	9,41	0,51
	CV (%)	7,11	16,67	40,00	11,30	15,39	50,00	44,23	17,37	21,16
T2 (A + NPK)	Média	5,50	0,03	0,13	1,86	1,90	0,03	0,80	48	6,40
	DesvPad	0,58	0,30	0,01	0,42	0,31	0,01	0,12	8,40	2,21
	CV (%)	10,62	37,50	12,50	22,58	21,68	50,00	30,77	20,56	35,76
T3 (Efluente)	Média	7,30	0,05	0,05	1,73	2,70	0,04	1,10	61	1,80
	DesvPad	0,44	0,01	0,01	0,70	0,83	0,01	0,20	5,10	0,92
	CV (%)	5,99	5,56	20,00	40,46	39,15	33,33	25,32	9,26	38,98
T4 (E + P)	Média	6,70	1,04	0,10	1,70	1,90	0,04	1,00	51	4,90
	DesvPad	0,31	0,10	0,01	0,81	0,20	0,01	0,26	4,29	0,27
	CV (%)	4,65	8,55	20,00	47,65	10,42	33,33	37,68	8,57	14,21
20 - 40 cm										
T1 (Água)	Média	7,60	0,04	0,07	1,60	2,10	0,04	1,10	57	3,20
	DesvPad	1,04	0,01	0,02	0,22	0,97	0,01	0,45	23,71	0,93
	CV (%)	13,77	33,33	40,00	13,75	53,01	33,33	57,69	44,48	37,65
T2 (A + NPK)	Média	4,70	0,03	0,15	2,23	1,10	0,04	0,90	33	12,20
	DesvPad	0,91	0,00	0,00	0,19	0,33	0,00	0,04	6,72	2,45
	CV (%)	19,49	0,00	0,00	8,52	31,13	0,00	19,05	21,00	8,49
T3 (Efluente)	Média	7,40	0,04	0,10	1,73	1,90	0,04	1,10	53	4,90
	DesvPad	0,31	0,01	0,03	0,09	0,30	0,02	0,07	3,58	0,57
	CV (%)	4,22	33,33	60,00	5,20	15,23	50,00	8,54	6,73	22,27
T4 (E + P)	Média	7,10	0,02	0,08	1,69	2,50	0,02	0,50	59	3,10
	DesvPad	0,61	0,00	0,01	0,16	0,31	0,01	0,09	5,54	0,89
	CV (%)	8,59	0,00	20,00	9,47	18,02	33,33	13,04	11,01	30,38

## CONCLUSÕES

Os tratamentos com efluente podem alterar as características químicas de um solo distrófico, cujos efeitos seriam (i) o aumento dos teores de N disponível às plantas (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); e em decorrência do acúmulo de nutrientes no solo, a fertirrigação com efluente pode diminuir a necessidade do uso de fertilizantes minerais, principalmente os nitrogenados, o que pode implicar em sensível economia, dado ao elevado custo desses insumos; (ii) a não alteração das concentrações de Al<sup>3+</sup>, Na ou a PST do solo, indicando que, sob as condições estudadas, não há risco de toxicidade por alumínio ou sodificação do solo.



## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/CT-HIDRO, FACEPE (PRONEX), FINEP (PROSAB), à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), a Anderson Silva, pela dedicação e ajuda na realização das análises laboratoriais, ao LSA-UFPE e ao Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. SILVA, F.C. org. Brasília, 1999. pp 75 – 223.
2. FREIRE, F.M; PITTA, G.V.E; ALVES, V.M.C; FRANÇA, G.E; COELHO, A.M. Cultivo do Milho. Interpretação de Resultados de Análise de Solo. **Comunicado Técnico 43**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. EMBRAPA Sete Lagoas, MG. ISSN 1679-0162, Dezembro, 2003.
3. GUIDELINES FOR THE SAFE USE OF WASTEWATER, EXCRETA AND GREYWATER. Volume II: Wastewater use in agriculture. Geneva. **World Health Organization**. 213p. 2006.
4. IPA. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Cavalcanti, F. J. A. (coord.). 2ª aproximação. Recife. 198p, 1998.
5. LIMA, E. P. C.; SOUSA, J. T; DANTAS, J. P; HENRIQUE, I. N. Avaliação do uso de efluentes de UASB, lagoa de polimento e leito de brita no cultivo do gergelim (*Sesamum indicum L.*). **In: XI SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**. Natal, RN, p. 1-7. 2004.
6. MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Solo, Água, Clima, Planta e suas Interações com a Irrigação, cap. 2. **In: Irrigação. Princípios e Métodos**. Editora UFV. Viçosa, MG, p. 35-104. 2006.
7. SILVA, K. K. B. **Efeitos da irrigação com esgoto tratado sobre o sistema solo-planta (milho) e indução da supressividade a doenças causadas por nematóides**. Tese (Doutorado). Universidade Federaç de Pernambuco. 83f. 2009.
8. Standards Methods for the Examination of Water end Wastewater (1995). **American Public Health Association** (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environmental Federation (WEF). 19<sup>th</sup> Edition. Eaton AD, Clesceri LS, Greenberg AE (eds.). Washington DC, USA.
9. TABOSA J. N.; MACIEL, G. A.; TAVARES, J. A.; GAMA, E. E. G.; MAGNAVACA, R.; SANTOS, M. X. dos. Cultivar de milho CMS –36 – Seleção IPA, para solos ácidos da Chapada do Araripe. Recife, PE, **Comunicado Técnico**, IPA, n. 46, 3p. 1992.