

DIANE LÚCIA DE PAULA ARMSTRONG

**LODO DE ESGOTO ALCALINIZADO COMO FONTE DE NITROGÊNIO NO
DESENVOLVIMENTO INICIAL DA CULTURA DO ARROZ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dra. Beatriz Monte Serrat

Co-Orientador: Prof.^o Dr. Jair Alves Dionísio

CURITIBA

2006

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Orlando e Djanira,
fontes inesgotáveis de amor e sabedoria.

A verdadeira viagem do descobrimento não consiste em
procurar novas terras, mas em enfrentar a realidade
com novos olhos.

Marcel Proust

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tantas bênçãos recebidas e por ter me dado a oportunidade de realizar este trabalho.

Agradeço à Prof^a. Dr^a. Beatriz Monte Serrat e ao Prof. Dr. Jair Alves Dionísio, pela orientação, oportunidade, apoio, paciência, amizade e incentivo que foram fundamentais durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pelas críticas, sugestões e ensinamentos que propiciaram meu amadurecimento científico e principalmente, pela confiança depositada em mim para a realização deste trabalho.

A coordenação do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo auxílio prestado.

Aos amigos e companheiros do mestrado, Adriana, Neto, Marcelino, Brasil, Gustavo, Ricardo e Sonia. Agradeço pela amizade, carinho, apoio, companheirismo, alegria, pelas longas horas de convívio, por todas as festas (as cervejadas no Bar do Zico), e por fazer da nossa turma uma das melhores coisas do curso.

Agradeço a minha grande amiga Adriana Gomes, pelos conselhos, carinho, paciência, pelas risadas, bagunças, pelas broncas e palavras que tornaram mais amenos os momentos difíceis. Muito obrigada por tudo.

Agradeço ao amigo Ricardo Piovesan por toda ajuda prestada na realização das análises estatísticas deste trabalho.

Aos funcionários, D. Elda, Aldair, Roberto, Ana, José Roberto, Reginaldo e Maria, pelo carinho, apoio, atenção e por toda ajuda dispensada na realização das análises laboratoriais.

À minha família (pais, irmãs, cunhados e sobrinhos) agradeço pelo carinho, incentivo, compreensão e o apoio constante nesta longa jornada. Agradeço aos meus pais pela educação e ensinamentos, por me dedicarem tanto amor e carinho, por me aconselharem nos momentos mais difíceis e pela confiança que sempre depositaram em mim.

Agradeço à minha irmã Daliane, pelos conselhos, por todo seu apoio, companheirismo e carinho nas horas mais difíceis e pelo auxílio nas correções gramaticais deste trabalho. Às minhas irmãs Dalsiza e Diomar, que mesmo distantes, sempre me apoiaram e incentivaram a continuar esta caminhada.

Aos meus eternos amigos do departamento de Química do Colégio Estadual do Paraná, Paulo de Tarso, Márcia, Simone, Célia, Adriana, Marly, Geibe, Carlos, Lílian, Edilene, Raquel, Sonia e à nossa querida Malu, por todo carinho, amizade, companheirismo, incentivo e pela força dada quando eu não estava bem ou quando precisei faltar no trabalho para desenvolver alguma atividade do mestrado. Vocês são muito especiais para mim.

Às funcionárias da Biblioteca do setor de Ciências Agrárias, por toda atenção, amizade e carinho durante toda essa etapa do mestrado, com destaque para Simone por toda sua dedicação e presteza em colaborar na elaboração deste trabalho.

A todos os amigos próximos ou distantes, que não foram citados aqui, mas que moram no meu coração.

Ao IAPAR de Londrina pelo fornecimento das sementes do arroz.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste projeto.

E a todos que muitas vezes perderam alguns momentos do seu fim de tarde, fim de semana e feriados colaborando para “ molhar “ o arroz. O meu muito obrigada a todos vocês.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS	4
2.1.1 Resíduos Orgânicos.....	5
2.2 LODO DE ESGOTO.....	6
2.3 NUTRIENTES NO LODO DE ESGOTO.....	10
2.3.1 Nitrogênio	10
2.3.2 Fósforo.....	12
2.3.3. Potássio	13
2.4 MATÉRIA ORGÂNICA DOS BIOSSÓLIDOS NO SOLO.....	14
2.4.1 Bactérias do Solo	15
2.4.2 Fixação Biológica do Nitrogênio	16
2.4.3 Bactérias Fixadoras de Nitrogênio de Vida Livre.....	18
2.5 RESPIRAÇÃO MICROBIANA (LIBERAÇÃO DE CO ₂)	19
2.6 pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	20
2.7 CULTURA DO ARROZ.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL.....	24
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO.....	24
3.2.1 Areia	24
3.2.2 Solo.....	25
3.2.3 Lodo de Esgoto	26
3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	26
3.3.1 Preparação do Substrato	28
3.3.2 Parâmetros da Planta	28
3.4 ANÁLISES LABORATORIAIS.....	29

3.4.1	SUBSTRATO	29
3.4.1.1	Determinação de pH	29
3.4.1.2	Determinação da Condutividade Elétrica.....	29
3.4.1.3	Contagem da População Microbiana.....	29
3.4.1.4	Determinação da Respiração Microbiana.....	30
3.4.2	DA PLANTA.....	31
3.4.2.1	Análises de Nutrientes.....	31
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	ANÁLISES DO SUBSTRATO	33
4.1.1	pH	33
4.1.2	Condutividade Elétrica.....	35
4.2	ANÁLISE DA PLANTA – PARTE AÉREA E RAIZ.....	37
4.2.1	Germinação das Sementes de Arroz.....	37
4.2.2	Altura da Parte Aérea de Plantas de Arroz	38
4.2.3	Massa Seca da Parte Aérea e Raiz da Planta.....	39
4.2.4	TEOR NUTRICIONAL PARTE AÉREA E RAIZ DE PLANTAS DE ARROZ	41
4.2.4.1	Teor de Nitrogênio Total na Parte Aérea e Raiz da Planta	41
4.2.4.1.1	Balanço de Nitrogênio – N/ Entrada e N/ extraído.....	42
4.2.4.2	Teor de Fósforo na Parte Aérea e Raiz da Planta	44
4.2.4.3	Teor de Potássio na Parte Aérea e Raiz da Planta.....	46
4.3	ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SUBSTRATO.....	47
4.3.1	Contagem Inicial e Final da População de Microrganismos Fixadores de Nitrogênio de Vida Livre.....	47
4.3.2	Respiração Microbiana (Liberação de CO ₂).....	49
5	CONCLUSÃO	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXOS.....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DE TIPOS DE LODOS DO PARANÁ E OUTROS MATERIAIS ORGÂNICOS.....	7
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 a 20 cm.....	25
TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO LODO DE ESGOTO (EM BASE SECA).....	26
TABELA 4 - TRATAMENTOS UTILIZADOS E AS RESPECTIVAS QUANTIDADES DE N.....	27
TABELA 5 - pH DO SUBSTRATO EM H ₂ O (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	33
TABELA 6 - CONDUTIVIDADE (dS m ⁻¹) DO SUBSTRATO (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	35
TABELA 7 - GERMINAÇÃO DAS SEMENTES DE ARROZ (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	37
TABELA 8 - ALTURA (cm) DA PARTE AÉREA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	38
TABELA 9 - MASSA SECA (mg planta ⁻¹) DA PARTE AÉREA (PA) E RAIZ DA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	39
TABELA 10 - TEOR DE NITROGÊNIO TOTAL (g kg ⁻¹) NA PARTE AÉREA (PA) E RAIZ DA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	41
TABELA 11 – BALANÇO DE N - 1º EXPERIMENTO.....	43
TABELA 12 – BALANÇO DE N – 2º EXPERIMENTO.....	43
TABELA 13 – BALANÇO DE N - 3º EXPERIMENTO.....	44
TABELA 14 – TEOR DE FÓSFORO (g kg ⁻¹) NA PARTE AÉREA E RAIZ DA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	45

TABELA 15 – TEOR DE POTÁSSIO (g kg^{-1}) NA PARTE AÉREA E RAIZ DA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	46
TABELA 16 – CONTAGEM INICIAL DA POPULAÇÃO DE MICRORGANISMOS FIXADORES DE NITROGÊNIO DE VIDA LIVRE.....	48
TABELA 17 - CONTAGEM FINAL DA POPULAÇÃO DE MICRORGANISMOS FIXADORES DE NITROGÊNIO DE VIDA LIVRE (UFC/g solo seco) DO SUBSTRATO (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	48
TABELA 18 - RESPIRAÇÃO MICROBIANA (LIBERAÇÃO DE CO_2) DO SUBSTRATO (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS.....	50

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ANÁLISES, SOLUÇÃO EXTRATORA E MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO.....	25
--	----

RESUMO

O lodo de esgoto tem sido utilizado para fins agrícolas como uma alternativa de disposição adequada para a reciclagem dos nutrientes vegetais nele contidos e por seus benefícios ao solo. Com o objetivo de avaliar o efeito do lodo de esgoto alcalinizado como fonte de nitrogênio no desenvolvimento inicial e em aspectos nutricionais da cultura do arroz, bem como em parâmetros microbiológicos do substrato, foram desenvolvidos três experimentos no período de setembro de 2005 a março de 2006. Os experimentos foram conduzidos no Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná localizado no município de Curitiba -PR, sendo um realizado na casa de vegetação e dois em laboratório. O substrato foi composto de solo e areia (2 g de solo e 200 g de areia), ao qual foram adicionadas doses crescentes de lodo de esgoto anaeróbico equivalentes a 0; 1,25; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 kg ha⁻¹ de nitrogênio (base seca). O experimento foi conduzido num delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições. Para o substrato foram determinados o pH, CE, contagem de microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre e respiração microbiana e para a planta foram determinados altura, germinação, matéria seca e os teores de N, P e K. As aplicações do lodo de esgoto promoveram o aumento do pH e da condutividade elétrica do substrato. Todavia, esse efeito da condutividade elétrica foi inferior àquele considerado prejudicial à cultura do arroz. Os resultados para os demais parâmetros variaram com a dosagem e com o experimento avaliado, destacando-se o 3º experimento, o qual apresentou para as maiores doses de lodo de esgoto aplicadas, menores valores de matéria seca quando comparadas à testemunha. A maior taxa de respiração microbiana foi encontrada, no 2º experimento, na maior dose de lodo aplicada. Entretanto, a maior população de microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre ocorreu no 3º experimento no tratamento testemunha, onde também foi observada maior a produção de matéria seca da parte aérea e raiz da planta.

Palavras-chave: adubo orgânico, biossólido, lodo de esgoto, microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre, condutividade elétrica, pH.

ABSTRACT

The sewage sludge has been used for agricultural purposes as an alternative of appropriate disposition for recycling the vegetables nutrients contained on them and for the benefits to the ground. With the goal to evaluate the effect of alkalinized sewage sludge as a source of nitrogen in its initial development and in nutritional aspects of rice's crops, and also in substrate microbiological patterns, three experiments were developed from September 2005 to March 2006. The experiments took place in the Soil Department of UFPR, which is situated in Curitiba - PR. One took place in greenhouse and two in a laboratory. The substrate was made of soil and sand (2g of soil and 200g of sand), to which growing doses of anaerobic sewage sludge were added equivalent to 0; 1,25; 2,5; 5,0; 7,5 and 10 kg ha⁻¹ of nitrogen (dry base). The experiment was conducted in an experimental lineation completely randomized, with six treatments and four replications. For the substrate were determined the pH, electrical conductivity, the counting of the free-living Nitrogen-fixing microorganisms and microbe breath and for the plant were determined height, germination, dry matter and the contents of N, P and K. It was verified that the sewage sludge's application has promoted an increase of the pH and of the substrate's electrical conductivity. However, this electrical conductivity's effect was inferior to the one considered harmful to the rice's crops. The results for the other patterns, varied with the doses and with the evaluated experiment, excelled the third experiment, which presented the greatest doses of sewage sludge applied, lower values of dry matter when compared to the marker. The bigger microbe breath's rate was found in the second experiment, in the bigger dose of sludge applied. However, the higher population of the free-living nitrogen fixing microorganisms occurred in the third experiment in the marker treatment, where also was observed higher the dry matter's production from the aerial part and from the plant's root.

Keywords: organic fertilizer, biossolid, sewage sludge, free-living Nitrogen-fixing microorganisms, electrical conductivity, pH.

1 INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea tem proporcionado e acompanhado uma série de mudanças em todos os espaços que conquistou ao longo do tempo, mudanças estas que nem sempre trouxeram efeitos benéficos para o meio ambiente, à vida e ao próprio ser humano.

Em função do desenvolvimento científico e tecnológico, várias áreas da ciência têm se dedicado ao estudo dos motivos, dos efeitos e das conseqüências dessas mudanças, de modo geral, na melhoria da qualidade de vida das pessoas. Nesse ínterim tem destaque as preocupações que se referem ao meio ambiente e sua sustentabilidade, dando ênfase às preocupações com a produção e o destino dos resíduos sólidos, os problemas climáticos, a biodiversidade, a crise da água e o descarte de efluentes urbanos nos cursos d'água.

A fim de evitar ou pelo menos minimizar a crescente poluição dos rios causada por meio dos lançamentos dos esgotos *in natura* e os conseqüentes problemas ambientais que afetam os grandes centros urbanos, os esgotos domésticos passaram a sofrer um tratamento biológico, cujo resultado é um resíduo rico em matéria orgânica, o lodo de esgoto, o qual é denominado biossólido após processo de higienização (TSUTIYA, 2001).

Em virtude das dificuldades de dar um destino adequado a esse resíduo que permanece após o tratamento dos esgotos, têm-se estudado possibilidades de disposição final como: incineração, aterros sanitários, produção de tijolos, recuperação de solos, uso em reciclagem agrícola, entre outros.

Conforme Bettiol e Camargo (2000), o emprego do biossólido na agricultura constitui-se numa alternativa interessante para a reciclagem desse material (lodo tratado), pois de um lado melhora alguns atributos químicos, físicos e biológicos do solo, e de outro contribui para aliviar a carga e aumentar a vida útil dos aterros sanitários, cada vez mais difíceis de serem construídos e operados na periferia das cidades.

Por conter alto teor de matéria orgânica e quantidades apreciáveis de alguns nutrientes, o lodo de esgoto pode ser usado na agricultura (MELO et al.,

2001), substituindo, pelo menos em parte, os fertilizantes minerais normalmente usados.

Com essa finalidade, o lodo de esgoto vem sendo usado em uma grande variedade de culturas, como o milho, o trigo, a cana-de-açúcar e o arroz, dando bons resultados na produtividade. É necessário, contudo, avaliar o nível de metais pesados e definir métodos de higienização para garantir o uso seguro, sob os aspectos agrônômicos, sanitários e ambientais.

Dentre os nutrientes constituintes do lodo de esgoto para a finalidade agrícola, destaca-se o nitrogênio, o qual está presente nesse resíduo nas formas orgânica e inorgânica. Porém, o nitrogênio orgânico contido no lodo não está prontamente disponível para as plantas, sendo que somente tornar-se-á disponível após um processo microbiológico de mineralização.

A determinação da fração do nitrogênio orgânico que será mineralizada é um parâmetro útil na definição da dose de aplicação do lodo, pois esta deverá levar em consideração a quantidade de nitrogênio presente no lodo que estará disponível para as plantas num determinado período, contribuindo dessa forma com a adubação nitrogenada das culturas. Segundo SANEPAR (1997), em climas quentes, esta disponibilidade é de 50% para o primeiro ano de aplicação.

Contudo, sabe-se também que a aplicação de altas doses de lodo esgoto ao solo, pode liberar nitrogênio mineral, na forma de nitrato (NO_3^-) acima das necessidades de uma cultura, podendo comprometer as águas subterrâneas. Por essa razão, fazem-se necessárias pesquisas que avaliem a mineralização deste elemento quando utilizado como fertilizante orgânico.

Por sua vez, a determinação do potencial de mineralização do nitrogênio orgânico é realizada através de ensaios de laboratório e um dos métodos mais utilizados é o da incubação com ou sem lixiviação, o qual requer um período, aproximado, de 18 semanas para obtenção dos resultados, como propõe o manual da CETESB (Norma P4230, 1999).

No entanto, novas metodologias que possam contribuir para a determinação do potencial de mineralização do nitrogênio do lodo em um menor espaço de tempo devem ser testadas.

Esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar o efeito do lodo de esgoto alcalinizado como fonte de nitrogênio no desenvolvimento inicial e em aspectos nutricionais da cultura do arroz, bem como em parâmetros microbiológicos do substrato.

Os objetivos específicos foram avaliar o efeito de doses crescentes de lodo de esgoto:

- No pH e na condutividade elétrica do substrato;
- Na contagem da população de bactérias fixadoras de nitrogênio de vida livre;
- Na atividade microbiana através da taxa de respiração do substrato;
- Nos parâmetros de crescimento inicial da cultura do arroz;
- Na concentração de nutrientes (N, P, K) da parte aérea e da raiz da cultura em estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS

O crescimento da população e sua capacidade de interferir no meio tem ocasionado a produção de uma grande quantidade de resíduos – seja de origem industrial ou urbana - gerados pelas atividades exercidas pelo homem.

Os resíduos são produzidos praticamente em todas as atividades humanas e em sua composição há uma grande diversidade de substâncias, decorrentes da produção do lixo, dos tratamentos de esgotos, tratamentos industriais, dentre outros. Devido a variedade de substâncias em sua composição, os resíduos, acabam se tornando agentes poluidores nas grandes áreas urbanas, devendo ser armazenados de forma adequada, a fim de evitar que esses venham interagir entre si, gerando um desequilíbrio no meio ambiente.

De modo geral, as normas brasileiras referentes aos resíduos consistem na determinação das características químicas e físicas desses materiais, através da avaliação dos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT- dita várias normatizações referentes aos resíduos, dentre elas a NBR 10004/2004, a qual classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública (MORAES, 2006).

A classificação para o gerenciamento dos resíduos na NBR 10004 estabelece dois grupos: os da Classe I Perigosos, e os da Classe II Não perigosos, sendo que esses últimos estão subdivididos em Classe II A Não inertes e Classe II B Inertes.

Para o presente trabalho, destaca-se os resíduos de classe II A Não inertes, que compõem os resíduos orgânicos, dentre eles o lodo de esgoto.

2.1.1 Resíduos orgânicos

Resíduo orgânico é todo produto proveniente de origem vegetal, animal, urbano ou industrial que apresente elevados teores de componentes orgânicos.

De acordo com Kiehl (1985), os resíduos orgânicos são constituídos por três principais grupos de componentes, água, matéria orgânica e matéria mineral, também denominada matéria inorgânica.

Para Costa (1994), a incorporação de resíduos orgânicos ao solo pode trazer benefícios à planta através da melhoria das propriedades químicas do solo pelo fornecimento de nutrientes, aumento da capacidade de troca de cátions e aumento do poder tampão do solo.

Dentre os resíduos orgânicos adicionados ao solo como fonte de nutrientes para as plantas, destaca-se a vinhaça, resíduos de curtume, resíduos petroquímicos, lodos de estações de tratamentos de efluentes, compostos de lixo urbano, esterco de animais, farinha e tortas de origem vegetal (MEURER, 2000).

Segundo Costa (1994), estes resíduos juntamente com seus componentes, quando se degradam e se incorporam ao solo dão altas porcentagens de C orgânico e outros elementos essenciais tais como N, P, Ca, Mg, entre outros. Porém, um fator agravante diz respeito ao seu descarte, que muitas vezes são feitos diretamente nos cursos d'água e no solo, sem o mínimo cuidado. Tal situação tem sido motivo de preocupação, tendo em vista a incapacidade do meio ambiente em absorvê-los.

Por esse motivo, é crescente nos últimos anos, o interesse na utilização do solo como meio alternativo para auxiliar no controle da poluição ambiental causada pelo descarte inadequado dos mesmos, pois segundo Meurer (2000), essa prática é viável devido à capacidade dos microrganismos juntamente com os colóides do solo em decompor compostos e resíduos orgânicos e inativar diversos íons e compostos orgânicos do solo por adsorção, complexação ou precipitação.

Sendo assim, vem crescendo a utilização do solo como meio de descarte para resíduos com potencial poluente, dentre eles os lodos gerados nas estações de tratamentos de esgoto.

2.2 LODO DE ESGOTO

Segundo Tsutya (2000), o lodo proveniente das estações de tratamento de esgoto quando processado de modo a permitir seu uso agrícola de forma segura e adequada passa a se chamar biossólido.

A composição química do lodo de esgoto é bastante variável, pois depende de muitos fatores, entre os quais a sua origem, o local e a época do ano de sua coleta, além do tipo de tratamento ao qual foi submetido (MELO e MARQUES, 2000). Conforme Meurer (2000), os hábitos alimentares da população, bem como a inclusão de águas servidas de estabelecimentos comerciais variados e de pequenas indústrias, também influenciam a sua composição.

De acordo com Tsutiya (2001), o biossólido contém cerca de 1 a 6% de nitrogênio (base seca) na forma orgânica e inorgânica, sendo esta última composta pelo nitrogênio amoniacal (NH_4^+) e nítrico na forma de nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-). Em geral, como são ricos em nitrogênio, os biossólidos podem ser utilizados como fertilizantes nitrogenados com grande eficiência.

Para os lodos digeridos anaerobicamente cerca de 30 a 60% do total de nitrogênio está presente na forma de N amoniacal, entretanto para o lodo digerido aerobicamente esse valor passa a ser de apenas 5 a 20% (TSUTIYA, 2001).

Na TABELA 1 são apresentadas as composições médias e as comparações quanto aos teores de nutrientes dos tipos de lodos do Paraná e outros materiais orgânicos (ILHENFELD et al., 1999). Observa-se na tabela que os teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio diferem quanto ao tipo de lodo, sendo esses teores comparáveis aos encontrados em outros materiais orgânicos de uso habitual nas práticas agrícolas. De modo geral, os lodos digeridos anaerobicamente mesmo após a calagem, onde há expressiva perda de nitrogênio (em torno de 50%), ainda apresentam teores altos de nitrogênio (N), médios de fósforo (P) e baixos de potássio (K) (ILHENFELD et al., 1999).

Sendo assim, pelos teores de matéria orgânica e nutrientes apresentados na TABELA 1, quando comparados com alguns resíduos orgânicos de uso habitual na agricultura, observa-se que o lodo de esgoto também poderia ser

usado com essa finalidade, tendo em vista os benefícios agronômicos, ambientais e econômicos proporcionados por sua correta utilização.

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DE TIPOS DE LODOS DO PARANÁ E OUTROS MATERIAIS ORGÂNICOS.

Identificação/ nutrientes	Água	Matéria Orgânica	%		
			N	P	K
Lodo aeróbio calado	85,0	69,4	2,50	0,90	0,20
Lodo anaeróbio	65,0	36,2	1,60	0,20	0,05
Esterco de poedeiras	-	-	2,00	2,00	2,00
Esterco de bovinos	83,5	14,6	0,30	1,17	0,10
Esterco de eqüinos	75,8	21,0	0,44	0,32	0,35
Esterco de ovinos	65,0	31,4	0,60	0,30	0,15
Esterco de suínos	81,0	12,0	0,60	0,60	0,30

Fonte: Dados do programa de reciclagem agrícola de lodo da SANEPAR citados por ILHENFELD et al. (1999).

Cherubini (2002) assegura que para o lodo de esgoto ser utilizado como fertilizante agrícola ou até mesmo para ser disposto no meio, é necessário que o mesmo passe por um processo de desinfecção eficaz, o que reduz a concentração dos organismos patogênicos e evita dessa maneira a contaminação do solo e cursos d'água.

O uso agrícola do lodo tem sido recomendado por muitos pesquisadores, por proporcionar benefícios agronômicos, como elevação do pH do solo (BETTIOL e CAMARGO, 2000; TSUTIYA, 2001; OLIVEIRA et al., 2002), redução da acidez

potencial (BERTON et al., 1989), aumento no teor de matéria orgânica (TSUTIYA, 2001), aumento da capacidade de troca de cátions (OLIVEIRA et al., 2002) e aumento na disponibilidade de nutrientes (DA ROS et al., 1993; TSUTIYA, 2001) em diversas culturas. Entretanto, Oliveira et al. (2002), observou que o uso do lodo provocou um aumento da condutividade elétrica no solo.

Muitas pesquisas estão sendo realizadas afim de avaliar o efeito da aplicação do lodo de esgoto na produtividade e desenvolvimento de diversos tipos de culturas, em diferentes condições, dosagens e tipos de solos (BETTIOL et al., 1983; DA ROS et al., 1993; SILVA et al., 2001; SIMONETE et al., 2003).

Embora, tenha sido observado benefícios agrônômicos em trabalhos realizados com a utilização do lodo de esgoto, esses resultados podem variar em função das características do lodo utilizado, dentre estas a origem, o tempo de armazenagem e o tipo de tratamento ao qual foi submetido.

Sendo assim, para os lodos digeridos anaerobicamente, alguns trabalhos apresentaram os seguintes resultados:

Em trabalho desenvolvido por Bettiol et al. (1983) com as culturas de milho, arroz e soja em vasos, foi analisada a produção de matéria seca e os autores constataram que o lodo de esgoto digerido (pH = 6,03) quando utilizado na dosagem de 9 Mg ha⁻¹ (base seca) como fonte de nutrientes às culturas, não apresentou diferença significativa quando comparado com tratamentos que receberam adubação mineral recomendada.

Berton et al. (1989) utilizando doses equivalentes a 0, 40 e 80 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto em base seca, encontraram aumentos significativos na produção de matéria seca e absorção de N, P, Ca, Mg e Zn pelo milho em cinco solos paulistas. Segundo os autores, a adição do lodo proporcionou ainda um aumento no pH dos cinco solos estudados, após 15 dias da sua aplicação.

Simonete et al. (2003) conduziram experimento em casa de vegetação, com a cultura do milho, em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando doses equivalentes a 0, 10, 20, 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹ de lodo em base seca. A aplicação de lodo elevou os teores de matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, Al e H+Al do solo e

diminuiu o pH. O acúmulo de macronutrientes e a produção de matéria seca do milho aumentaram com a aplicação de lodo de esgoto.

Para os lodos digeridos aerobicamente, alguns trabalhos realizados apresentaram os seguintes resultados:

Da Ros et al. (1993) em experimento utilizando lodo de esgoto com fertilizantes na cultura de milho, em um Podzólico Vermelho-Amarelo franco-arenoso no horizonte A, aplicaram dosagens crescentes de lodo (0, 20, 40, 80 e 160 Mg ha⁻¹, base úmida) e constataram um aumento significativo no rendimento de matéria seca da parte aérea do milho. Mostraram ainda que a quantidade de N, P e K absorvida pela parte aérea do milho aumentou significativamente com as doses de lodo.

Deschamps e Favaretto (1997) em experimento em campo com a cultura do girassol à qual foram adicionadas doses de lodo de esgoto alcalinizado constataram que o lodo pode ser utilizado como fonte de adubação orgânica substituindo 100% a quantidade de nitrogênio recomendado sem prejuízos de rendimento quando comparado com tratamentos que receberam adubação mineral recomendada.

Os autores aduzem ainda que embora haja um aumento de produtividade com a utilização do lodo de esgoto nas culturas, a dosagem a ser utilizada varia em função da exigência nutricional da espécie vegetal, da fertilidade do solo e das características do lodo de esgoto. Para Melo et al. (2001) a recomendação da quantidade de lodo a ser aplicada é normalmente feita tomando-se como base os teores de nitrogênio no lodo e os requerimentos da cultura deste nutriente.

Fernandes et al. (1999) afirmam ainda que a taxa de aplicação poderá, também, se basear no poder de neutralização do lodo (a taxa de aplicação do biossólido não poderá elevar o pH do solo a níveis superiores a 7,5), no caso de uso de lodo caído e do máximo acúmulo de metais pesados permitido no solo. Porém, Chueiri (2001), assegura que a elevação excessiva do pH devido ao uso do lodo alcalinizado na agricultura, tendo como base somente o fornecimento de nutrientes, sem considerar seu efeito corretivo da acidez, é uma prática de risco,

em solos alcalinos, pois esta prática pode causar prejuízos ao agricultor e danos ao solo.

2.3 NUTRIENTES NO LODO DE ESGOTO

2.3.1 Nitrogênio

Na agricultura, o nitrogênio é um nutriente requerido em grande quantidade, pois influi no crescimento e na produtividade das culturas.

A origem do nitrogênio que pode ser disponibilizado às plantas provém do ar atmosférico - processo da fixação biológica do nitrogênio atmosférico -, da matéria orgânica do solo, da reciclagem através de resíduos de culturas anteriores e dos fertilizantes nitrogenados, sejam eles de origem mineral ou orgânica (CERETTA, 2000).

O nitrogênio ocorre nos solos principalmente em combinações orgânicas, porém, são as formas inorgânicas desse elemento que estão prontamente disponíveis para os vegetais. Esta disponibilidade de N para as plantas depende da taxa de mineralização da matéria orgânica, que é governada pela quantidade de N disponível na mesma e também pela presença de microrganismos, umidade e outras condições que tornam o processo mais rápido e favorável (KIEHL, 1999).

Todavia, qualquer que seja a forma de N mineral introduzida no solo, tende a passar à forma orgânica, seja pela absorção por microrganismos, seja pela absorção por plantas (MELLO et al., 1983).

As transformações do nitrogênio das formas orgânicas a inorgânicas e vice-versa ocorrem através de dois processos, denominados mineralização e imobilização, em que a mineralização consiste na transformação do nitrogênio orgânico em formas inorgânicas (minerais), enquanto que a imobilização consiste na passagem do nitrogênio mineral para formas orgânicas. Além dos processos opostos de mineralização e imobilização, a lixiviação do NO_3^- e denitrificação são

também processos que governam a quantidade de N mineral presente no solo em um dado instante, sendo a denitrificação um processo de respiração anaeróbia que constitui-se numa das mais importantes e difundidas causas de perdas gasosas do nitrogênio no solo (VICTÓRIA et al., 1988).

Na transformação do nitrogênio orgânico em formas inorgânicas, o N orgânico passa inicialmente por um processo de mineralização, levando à formação do íon amônio, que em seguida passa por um processo de nitrificação, dando origem ao íon nitrato.

O nitrogênio amoniacal (NH_4^+) apresenta a grande vantagem de ser retido pela micela do solo, pois as minúsculas partículas de solo com cargas negativas retêm avidamente os cátions NH_4^+ . Desta forma, a perda do elemento por lixiviação é diminuída, sendo o nitrogênio amoniacal um dos produtos da decomposição que é significativamente absorvido pelas plantas (ANDREOLI et al., 2001). Já o íon nitrato (NO_3^-) é um dos íons mais móveis do solo e está sujeito à lixiviação e à movimentação junto aos fluxos de água no solo.

Por esta razão, no caso da utilização do lodo de esgoto como fonte de nitrogênio, se faz necessário um acompanhamento do processo de mineralização deste elemento, pois a aplicação de altas doses de lodo esgoto ao solo, pode liberar nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-) acima das necessidades de uma cultura, podendo por meio dos processos de lixiviação e denitrificação comprometer as águas subterrâneas ou provocar o desprendimento de óxido nitroso, respectivamente (VIEIRA, 2004).

Entretanto, a absorção de nitrogênio pelas culturas reduz a possibilidade de contaminação do lençol subterrâneo por nitrato, mas isso depende das taxas de absorção pelas plantas e das doses de aplicação de lodos de esgotos no solo (BRAGA, 2002). Tais doses podem ser definidas por meio do potencial, fração ou taxa de mineralização do nitrogênio orgânico, que, por sua vez, representa a porcentagem do mesmo que poderá ser transformada em nitrogênio inorgânico e que posteriormente será utilizada pelas plantas.

Assim, tendo conhecimento das características do lodo relacionadas à decomposição microbiológica do nitrogênio orgânico, em função do nitrogênio disponibilizado à plantas, pode-se fazer uma previsão de seu comportamento no solo, permitindo definir parâmetros úteis ao estabelecimento das doses máximas a serem aplicadas aos solos (BOEIRA et al., 2002).

Dessa maneira, o estudo da dinâmica de mineralização do nitrogênio no lodo de esgoto é de grande importância, pois além de determinar as dosagens máximas desses materiais, pode evitar a geração de nitrato em quantidade que ultrapasse a capacidade de absorção das plantas.

2.3.2 Fósforo

Dentre os vários nutrientes que as plantas precisam para a produção, o fósforo (P) ocupa lugar de destaque, devido à sua deficiência generalizada na grande maioria de nossos solos (YAMADA E ABDALLA, 2004).

O fósforo ocorre na natureza nas formas orgânicas e inorgânicas, sendo as formas inorgânicas desse elemento que estão prontamente disponíveis para as plantas. Assim como acontece com o nitrogênio, o fósforo está sujeito aos processos de mineralização e imobilização no solo.

Devido à alta concentração de fósforo nos microrganismos, que pode atingir 2% da matéria seca nas bactérias, ele é o segundo nutriente mais abundante na matéria orgânica do solo (YAMADA E ABDALLA, 2004).

O fósforo presente no lodo de esgoto, segundo Tsutiya (2001), é proveniente dos dejetos, da estrutura dos microrganismos presentes no esgoto e dos tensoativos e sabões que utilizam fosfatos como aditivos.

De um modo geral, os bio sólidos, contêm quantidades de fósforo menores que o nitrogênio. Um lodo de esgoto, digerido anaerobiamente e calado, apresenta teor médio de 15 kg de nitrogênio por tonelada de matéria seca e 2,2 kg de fósforo por tonelada. Lodos digeridos aeróbiamente tendem a apresentar teores maiores

desses nutrientes (aproximadamente o dobro), mesmo após calagem (ILHENFELD et al., 1999).

Conforme SANEPAR (1997), algumas formas de tratamento do lodo, como a calagem, podem provocar a redução de disponibilidade do P presente neste resíduo.

2.3.3 Potássio

Nos biossólidos a concentração de potássio é muito pequena em torno de 0,4 % (BETTIOL e CAMARGO, 2000), pois esse elemento é bastante solúvel na água, o que acarreta numa perda desse nutriente na solução. Entretanto, mesmo apresentando baixos teores de potássio, 100% deste nutriente é considerado assimilável pelas plantas (TSUTIYA, 2001).

Segundo Paglia (2004), algumas pesquisas tem mostrado que há necessidade de suplementação de potássio na utilização de lodo de esgoto, pois constata-se que os sintomas de deficiência deste elemento, se deve ao desequilíbrio com outros cátions presentes no lodo de esgoto alcalinizado.

No caso de lodo de esgoto alcalinizado em que o teor de cálcio é elevado devido ao uso de cal no processo de produção, ocorre uma redução ainda maior na absorção de potássio pela planta, uma vez que tais elementos apresentam reações de interferência entre si (MELO e MARQUES, 2000).

As altas doses de cálcio presente no lodo de esgoto alcalinizado, podem gerar relações Ca: Mg e Ca: K elevadas ocasionando desbalanço nutricional na planta, pois segundo Malavolta et al. (1997), o excesso de cálcio e, em menor escala o de magnésio, causam menor absorção do potássio devido a inibição competitiva entre eles.

2.4 MATÉRIA ORGÂNICA DOS BIOSSÓLIDOS NO SOLO

Os resíduos orgânicos quando aplicados no solo agem como fonte de energia para os microrganismos pertencentes a este meio e uma vez incorporados ao solo, passam a ser denominados matéria orgânica.

Na definição de Brady (1989), a matéria orgânica do solo representa um acúmulo de resíduos animais e vegetais parcialmente decompostos em contínua decomposição resultante do trabalho de microrganismos do solo, devendo ser constantemente renovada pela adição de resíduos vegetais.

A influência que a matéria orgânica exerce nas propriedades físicas do solo faz com que haja uma melhora na sua estrutura, que se traduz por melhor aeração e permeabilidade podendo aumentar a resistência dos agregados e reduzir os riscos de erosão, além de aumentar o conteúdo de húmus que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água (COSTA, 1994; BETTIOL e CAMARGO, 2000).

Os nutrientes presentes em adubos orgânicos, principalmente o nitrogênio e o fósforo, possuem uma liberação mais lenta que a dos adubos minerais, dependentes da mineralização da matéria orgânica, proporcionando disponibilidade ao longo do tempo, o que muitas vezes favorece um melhor aproveitamento desses nutrientes (RAIJ et al., 1996).

Para que um resíduo orgânico, rico em matéria orgânica como o lodo de esgoto possa se tornar útil às plantas, é necessário que o mesmo sofra um processo microbiano de decomposição, resultando na formação de húmus e sais minerais que contem os macronutrientes, como o N, P e K e os micronutrientes, os quais deixam sua forma orgânica dita imobilizada para passar à forma mineralizada.

Esse processo de decomposição se dá através da ação de inúmeros microrganismos presentes no solo, sendo os fungos e as bactérias os microrganismos mais influentes nessas transformações.

2.4.1 Bactérias do Solo

A biota do solo é formada por uma variedade de microrganismos que segundo Meurer (2000), decompõem os mais diversos materiais orgânicos desdobrando-os em compostos menos tóxicos ou atóxicos.

Quando se aplica fertilizantes minerais e resíduos orgânicos na forma de lixo urbano, lodos de esgotos, esterco, restos de animais e vegetais, entre outros, ocorrem alterações na microbiota do solo, provocadas pela intensa atividade de alguns microrganismos, entre eles, as bactérias.

As bactérias, que são microrganismos procarióticos, unicelulares e que se reproduzem pelo processo de fissão binária, (PELCZAR et al., 1996; TORTORA et al., 2005), possuem diversas formas e tamanhos, variando de 0,2 a 2,0 μm de diâmetro e de 2 a 8 μm de comprimento, participam das reações de decomposição dos resíduos orgânicos incorporados ao solo, causando efeitos na comunidade de organismos e nas propriedades físicas e químicas deste solo.

A população bacteriana do solo excede a população de todos os outros grupos de microrganismos, tanto em número como em variedade. Segundo Meurer (2000), o número de bactérias pode variar de 10^5 a 10^6 por grama de solo e de acordo com Tortora et al. (2005), o pH ótimo para seu desenvolvimento se situa entre 6,5 e 7,5.

Segundo Siqueira (1988), os gêneros de maior ocorrência no solo são: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Xanthomonas* e *Micrococcus*. Porém, ocorrem ainda outros gêneros pouco representativos, mas de grande importância para o sistema solo-planta, entre eles *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Ferrobacillus*, *Thiobacillus*, *Hidrogenomonas*, *Dessulfovibrio*, *Methanobacillus* e *Carboxidomonas*. Além destas são de grande importância para a agricultura os representantes dos gêneros: *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, que são bactérias fixadoras de N_2 e vivem em simbiose com leguminosas e não leguminosas do gênero *Parosponia*; *Azospirillum* que fixam N_2 com gramíneas; e *Beijerinckia*, *Azotomonas*, *Derxia* e outros gêneros que são fixadores de vida livre no solo.

Quando o lodo de esgoto é adicionado no solo, os microrganismos do solo promovem a reciclagem deste resíduo e dessa maneira, a atividade microbiana realizada principalmente pela ação de bactérias também é modificada, provavelmente por esses microrganismos serem estimulados pelo pH elevado do biossólido, o que reflete em um aumento de sua população microbiana.

Dionísio et al. (1999) testaram a adição de doses crescentes (0,0; 3,2; 6,4 e 9,6 t/ha de matéria seca) de lodo de esgoto aeróbio alcalinizado na cultura do milho no ano agrícola 97/98. Os resultados encontrados demonstraram que a adição do lodo de esgoto nas doses 3,2; 6,4 e 9,6 t/ha de matéria seca quando comparadas com a testemunha e a adubação mineral nas avaliações realizadas aos 5, 35, 85 e 125 dias após a aplicação, favoreceu o aumento da população bacteriana.

2.4.2 Fixação biológica do nitrogênio

A atividade biológica do solo é decorrente da presença de organismos que habitam esse ambiente, das interações entre eles e as plantas e das transformações bioquímicas que realizam (MEURER, 2000). Um exemplo da atividade exercida por esses microrganismos no solo é a incorporação de nitrogênio atmosférico ao solo através da fixação por bactérias que vivem em associação com as raízes das plantas.

Todos os organismos do solo necessitam de nitrogênio para o seu desenvolvimento e conforme Sutcliffe e Baker (1989), como as rochas contêm pouco ou nenhum nitrogênio, a sua reposição na solução do solo depende da decomposição do húmus e da fixação biológica de nitrogênio.

O processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) nada mais é do que a transformação do N_2 atmosférico em NH_4^+ , intermediado pela enzima nitrogenase presente nas bactérias diazotróficas (ALVES et al., 2000).

Os microrganismos diazotróficos implicados neste processo podem ser classificados em dois grupos: microrganismos não simbióticos (de vida livre) – que

vivem livre e independentemente no solo - e microrganismos simbióticos – que vivem nas raízes de plantas leguminosas (PELCZAR et al., 1981).

As bactérias de vida livre fixadoras de nitrogênio são encontradas particularmente em altas concentrações na rizosfera e as bactérias simbióticas fixadoras de nitrogênio infectam raízes de algumas espécies de plantas leguminosas.

Alguns gêneros de microrganismos fixadores de nitrogênio podem se associar a plantas colonizando a superfície das raízes, ocupando espaços inter ou intracelulares ou mesmo causando mudanças morfológicas e fisiológicas nas plantas através da formação de nódulos (SIQUEIRA e FRANCO, 1988).

Várias culturas participam, indiretamente, deste fenômeno por associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio, sendo a mais conhecida, a associação entre as leguminosas (soja, alfafa, feijão, etc.) e as bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*.

A associação *Rhizobium* – leguminosa não é o único fenômeno de simbiose existente entre um microrganismo fixador de nitrogênio e uma planta, mas é o mais importante e o mais conhecido (NICOLI, 1991).

Alguns microrganismos fixadores de nitrogênio podem viver associados à rizosfera ou então às raízes de algumas variedades de gramíneas, entre eles, os gêneros *Beijerinckia* na rizosfera e *Herbaspirillum seropedicae* no interior das raízes (KERBAUY, 2004), sendo que esta última, juntamente com outras bactérias diazotróficas endofíticas, representantes dos gêneros *Azoarcus*, *Azospirillum* e *Burkholderia*, foram identificadas em associação com variedades de arroz, em diferentes países (RODRIGUES et al., 2006).

Devido à importância dessas associações, tem se intensificado o estudo de microrganismos diazotróficos associados às raízes para algumas variedades de culturas, destacando-se dentre esses microrganismos, a bactéria diazotrófica *Herbaspirillum seropedicae*.

2.4.3 Bactérias fixadoras de nitrogênio de vida livre

Os organismos fixadores de nitrogênio, como já citado, podem ser de vida livre ou viver em associações. Tanto as formas, de vida livre como as associadas, fixam nitrogênio somente quando o ambiente é pobre em nitrogênio.

Segundo Kerbauy (2004), as bactérias de vida livre encontradas nos solos podem ser classificadas como aeróbicas (*Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*), bactérias anaeróbicas (*Clostridium*) ou bactérias facultativas (*Escherichia*, *Klebsiella*).

As bactérias de vida livre apresentam uma especial capacidade de trabalho em locais quentes e permanentemente úmidos. Em zonas temperadas a fixação de nitrogênio atinge apenas alguns kg ha⁻¹ de N₂, enquanto que nas regiões tropicais esse valor pode atingir até 100 kg ha⁻¹ de N₂ (LARCHER, 2004).

Nos últimos tempos, várias bactérias de vida livre foram pesquisadas, sendo os gêneros *Azospirillum* e *Herbaspirillum* os mais estudados.

A bactéria *Herbaspirillum seropedicae*, fixadora de nitrogênio, é uma bactéria diazotrófica, endofítica, gram-negativa, vibrióide e algumas vezes helicoidal, sendo isolada inicialmente da rizosfera de gramíneas e posteriormente de raízes de milho, sorgo e arroz (BALDANI et al., 1986; PIMENTEL et al., 1991). Esta espécie tem a forma de bastonetes curvos, com movimento ondulatório típico e são capazes de crescer em meio semi-sólido sem nitrogênio combinado, sendo encontradas no solo, rizosfera e interior de raízes de várias espécies de gramíneas forrageiras e cereais, como milho e arroz (MOREIRA, 1994).

As espécies de *Herbaspirillum spp.* são melhor isoladas através da inoculação de meio Semi-Sólido JNFb com diluições seriadas de 10⁻² a 10⁻⁶ de amostras de raízes, colmos ou folhas de cereais ou de gramíneas forrageiras plantadas com baixos níveis de N (DÖBEREINER et al., 1995).

A importância atribuída ao gênero *Herbaspirillum* provém da sua capacidade de fixação de nitrogênio em associação com gramíneas de interesse econômico e de sua capacidade de ser utilizado como biofertilizante em substituição aos fertilizantes nitrogenados.

A seqüência de transformações pelas quais passa o nitrogênio no solo, dentre elas a nitrificação e desnitrificação, é realizada por vários grupos de microrganismos. O processo de nitrificação por bactérias autotóficas, dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Já o processo de desnitrificação é realizado por microrganismos desnitrificantes heterotróficos, que em sua maioria são anaeróbios facultativos, sendo os microrganismos envolvidos neste processo os gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, entre outros.

2.5 RESPIRAÇÃO MICROBIANA (LIBERAÇÃO DE CO₂)

Dentre os parâmetros microbiológicos mais usados para a determinação das ações da adição de resíduos orgânicos, como o lodo de esgoto, sobre as atividades e a dinâmica das comunidades de microrganismos no solo estão: a liberação de CO₂, biomassa de carbono, contagem de microrganismos, entre eles os fixadores de nitrogênio e a mineralização de nitrogênio (SIQUEIRA, 1988; CARDOSO e FORTES NETO, 2000).

A taxa de respiração dos microrganismos do solo através da liberação de CO₂ é um parâmetro de grande importância por ser de fácil determinação e por apresentar correlação com a atividade microbiana do solo, pois permite quantificar a decomposição da matéria orgânica ocorrida num determinado período.

Segundo Jahnel e Bonnet (1998), o processo de respiração de organismos do solo é resultado da degradação de substâncias orgânicas, como a que ocorre durante a mineralização de lodo de esgoto, bem como de diversos outros processos metabólicos que têm na produção de gás carbônico o estágio final da mineralização dos compostos de carbono.

Os autores aduzem ainda que a avaliação da atividade de microrganismos através da liberação de CO₂ permite determinar a velocidade de degradação do lodo de esgoto no solo, bem como avaliar possíveis restrições à decomposição da matéria orgânica pela presença de compostos xenobióticos presentes no lodo.

A adição de matéria orgânica, geralmente, aumenta a respiração do solo. Isto pode ser comprovado através dos resultados encontrados por Cardoso e Fortes Neto (2000), que testaram a variação da emissão de CO₂ durante 90 dias após a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto no solo e verificaram que a produção de CO₂ aumentava significativamente à medida que as doses de lodo eram elevadas.

2.6 pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Quando se faz a adição de lodo de esgoto no solo, algumas de suas propriedades são afetadas.

Dentre os indicadores utilizados para avaliar os efeitos decorrentes da aplicação de lodos de esgotos sobre os atributos químicos do solo, estão o pH, para avaliar a acidez e a condutividade elétrica (CE), como estimativa do teor de sais ou da capacidade de fornecimento de nutrientes (BOEIRA et al., 2002).

A aplicação de lodo de esgoto alcalinizado ao solo tem promovido aumento do pH do solo (BETTIOL e CAMARGO, 2000; TSUTIYA, 2001). Concomitantemente ao aumento do pH do solo, em consequência da aplicação de lodo de esgoto, também tem sido observado o aumento da salinidade do solo, que é estimado a partir de sua condutividade elétrica (OLIVEIRA et al., 2002), a qual é determinada a fim de avaliar a quantidade de íons que estão em solução.

De acordo com Tamanini (2004), a adição de doses elevadas de lodo de esgoto pode provocar salinidade do perfil do solo, parte pela quantidade de sais presente neste tipo de material, parte pela presença de sódio que pode se tornar disponível no solo. Estes teores de sódio no lodo, que geralmente são altos, além de causar problemas de salinidade ao solo (MEURER, 2000), podem ocasionar um aumento da sua condutividade elétrica, pois quanto maior a concentração salina, maior a concentração de íons e mais intensa a corrente conduzida pela solução.

Segundo Pereira (2006), o excesso de sódio em relação ao cálcio e ao magnésio diminui a permeabilidade do solo, provocando redução nas taxas de infiltração de água e, conseqüentemente, na absorção de água pelas plantas. A relação utilizada para calcular a amplitude desse problema é definida como razão de adsorção de sódio (RAS) que é um parâmetro que avalia o efeito do potencial do sódio nos solos.

O aumento do teor de sódio no solo provocado pela utilização de lodo de esgoto pode causar toxidez para algumas culturas. Segundo Maas¹ (1985) citado por Abreu Júnior et al. (2000), as culturas de feijão, cana-de-açúcar e milho são muito sensíveis à salinidade (CE limite em extrato de saturação inferior a 2 dS m⁻¹) e a cultura de arroz sensível a uma CE limite de 3 dS m⁻¹.

Por esta razão, apesar dos inúmeros benefícios obtidos com o aproveitamento do lodo de esgoto na agricultura, a presença de alguns constituintes como, por exemplo, o sódio, pode trazer sérias restrições ao seu uso.

Sendo assim, faz-se necessárias medições da condutividade do lodo, pois a condutividade elétrica é um fator que além de afetar o desenvolvimento das plantas, indiretamente, afeta a mineralização da matéria orgânica (BOEIRA et al., 2002).

2.7 CULTURA DO ARROZ

Dentre os cereais, o arroz é uma cultura de grande importância, pois serve como fonte de carboidratos, nutrientes e proteínas na alimentação humana.

O arroz é uma gramínea anual, da classe monocotiledônea, sendo cultivado em vários estados brasileiros sob diferentes condições de clima, solo e técnicas de manejo.

Pertencente ao gênero *Oryza*, possui cerca de vinte espécies conhecidas, sendo a *Oryza sativa* a mais conhecida e a mais importante (ANSELMINI, 1988).

¹ MAAS, E.V. **Crop tolerance to saline sprinkling water.** Plant Soil, 89: 273 – 284, 1985.

A temperatura é um dos fatores climáticos mais importantes para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do arroz. Seu ciclo responde à temperatura, alongando-se à medida que esta se reduz, sendo as temperaturas mínimas e máximas para o arroz geralmente entre 20 e 35°C, variando de acordo com o estágio de crescimento da cultura. Temperaturas muito elevadas (acima de 40°C) prejudicam a cultura, tanto no período de germinação quanto no estágio de plântula (WREGGE et al., 2001).

De acordo com Ferraz (1983), a planta de arroz é sensível à radiação solar incidente, uma vez que a eficiência fotossintética é maior com intensidades luminosas mais baixas. Em condições normais, o processo de germinação das sementes de arroz ocorre entre 5 e 7 dias e a temperatura ótima situa-se entre 20 e 35 °C.

O processo de crescimento da planta de arroz exhibe variações quanto ao padrão de absorção de nutrientes e metabolismo, durante as várias fases de desenvolvimento, sendo que na fase vegetativa, os nutrientes, incluindo o N, P, K e S são absorvidos ativamente (PINHEIRO, 1999).

Quanto aos nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta de arroz, os macronutrientes são necessários em maior quantidade que os micronutrientes, porém, cada nutriente desempenha funções definidas dentro da planta e todos devem atuar conjuntamente para produzir melhores resultados (FAGERIA, 1999).

Segundo Fageria (1984), a planta de arroz necessita de nitrogênio durante a fase vegetativa, fase esta que se estende da germinação à fase de perfilhamento, sendo este nutriente componente de clorofila para a planta. O N estimula o crescimento do sistema radicular do arroz, e conseqüentemente, favorece o perfilhamento, aumenta o número de espiguetas por panícula e a porcentagem de proteína nos grãos (BUZETTI et al., 2000).

De acordo com Malavolta e Fornasieri Filho (1983), as variedades de sequeiro respondem relativamente menos ao N que as irrigadas e sempre que o N for aplicado em altas doses, poderá ocorrer acamamento e queda de produção da cultura.

O fósforo é um dos principais nutrientes do arroz sendo de grande importância no processo fotossintético da planta, pois segundo Fageria (1999), sua deficiência pode afetar a planta, provocando redução no crescimento, no perfilhamento, no sistema radicular e, conseqüentemente, na produtividade.

Fageria (1984) cita que o elemento potássio aumenta a produção da cultura, por ser este requerido em vários processos inerentes ao rendimento da planta, como resistência à doenças, formação e aumento de peso dos grãos e desenvolvimento radicular.

Em experimento realizado por FARINELLI et al. (2004), que avaliaram o efeito da adubação nitrogenada (0, 25, 50, 75, 100 kg ha⁻¹) e potássica (0, 25, 50 kg ha⁻¹) em cobertura na cultura de arroz de terras altas, constatou-se que diversas características produtivas foram influenciadas positivamente pela adubação nitrogenada e potássica, sendo que a melhor combinação de doses estaria em torno de 65 kg ha⁻¹ de N e 20 kg ha⁻¹ de K₂O, resultando em maiores valores de produtividade.

Em geral as culturas não se desenvolvem de maneira satisfatória em solos com acidez elevada, entretanto, algumas espécies toleram mais a acidez do que outras como é o caso do arroz de terras altas.

Isto pode ser comprovado por Fageria (2000), que em experimento realizado para avaliar o efeito do pH do solo sobre a produção e sobre a absorção de nutrientes por três cultivares/ linhagens de arroz de terras altas em um Latossolo Vermelho-Escuro, textura franco-argiloso de cerrado, pela aplicação de calcário, observou que a produção de matéria seca e de grãos e a absorção de nutrientes foram significativamente influenciados pelo pH do solo. O autor constatou que para absorção de nutrientes, as cultivares de arroz de terras altas avaliadas são bastante tolerantes à acidez do solo, produzindo satisfatoriamente sob pH entre 5 e 5,5.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL

Foram conduzidos três experimentos no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná localizado no município de Curitiba -PR, sendo o 1º realizado na casa de vegetação e o 2º e 3º realizados no Laboratório Didático de Solos.

O 1º experimento foi realizado no período de setembro a outubro de 2005, o 2º e o 3º foram realizados no ano de 2006, nos períodos de janeiro a fevereiro e fevereiro a março, respectivamente. Cada experimento foi desenvolvido num período de 28 dias, contados a partir da germinação das sementes do arroz que ocorreu aproximadamente três dias após a semeadura.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO

3.2.1 Areia

A areia utilizada nos três experimentos, após um processo de vinte cinco lavagens com água de torneira, recebeu os seguintes tratamentos antes de sua utilização:

- Nos 1º e 2º experimentos utilizouse areia de cava que foi previamente lavada com solução de HCl 0,1 M, água deionizada e em seguida levada em estufa para secagem a 60º C.
- No 3º experimento utilizou-se areia de rio, lavada, drenada, e antes de sua utilização no experimento, lavada novamente com água deionizada. Em seguida, realizou-se a correção da umidade para a determinação da quantidade equivalente a 200 g de areia seca.

3.2.2 Solo

As amostras de solo utilizadas nos experimentos foram coletadas no Campus I da Universidade Federal do Paraná, no Setor de Ciências Agrárias, sob vegetação de pomar. As coletas para cada experimento foram feitas na camada 0 a 20 cm com o auxílio de um trado tipo holandês e os resultados analíticos do solo classificado como Cambissolo Húmico Alumínico Típico coletado a cada época, constam da TABELA 2:

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 a 20 cm.

EXPERIMENTOS	pH	pH	Al	H	Ca	Mg	K	P	C
	CaCl ₂	SMP		+ Al				ppm	g.dm ⁻³
----- cmol _c . dm ⁻³ -----									
1º	5,1	5,7	0,0	6,2	11,7	3,9	0,42	29,5	35,6
2º	5,2	5,8	0,0	5,8	12,0	4,0	0,44	30,0	36,5
3º	5,3	5,9	0,0	5,4	12,7	4,2	0,46	31,1	37,7

A caracterização química do solo foi obtida a partir das análises de rotina do Laboratório de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, a partir de metodologia proposta por Pavan et al. (1992) que são apresentadas no QUADRO 1:

QUADRO 1- ANÁLISES, SOLUÇÃO EXTRATORA E MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

ANÁLISES	SOLUÇÃO EXTRATORA	MÉTODO DE DETERMINAÇÃO
pH CaCl ₂	CaCl ₂ 0,01M	Potenciométrico
pH SMP	SMP	Potenciométrico
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	KCl 1M	Complexometria com EDTA 0,0125M
Al ³⁺	KCl 1 M	Titulação NaOH 0,025 M
K ⁺	Mehlich-1 (HCl 0,05M + H ₂ SO ₄ 0,0125 M)	Fotometria de chama
P	Mehlich-1 (HCl 0,05M + H ₂ SO ₄ 0,0125 M)	Colorimétrico – azul
C	K ₂ Cr ₂ O ₇	Colorimétrico

Antes de ser utilizado no experimento, o solo coletado foi seco ao ar por 2 horas e em seguida tamizado em peneira de 2 mm de malha e depois homogeneizado.

3.2.3 Lodo de esgoto

O lodo de esgoto utilizado no experimento, foi proveniente de reator anaeróbio de lodo fluidizado (Ralf) da Estação de tratamento Atuba – Sul da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR. Este lodo, previamente tratado e alcalinizado com CaO (50% na base seca), desidratado em leito de secagem, apresentou as seguintes características químicas, conforme mostrado na TABELA 3:

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO LODO DE ESGOTO (EM BASE SECA)

Teor de umidade	N	P	Ca	Mg	K	C	ST	pH em H ₂ O
----- % -----								-
59,3	0,51	0,02	35,7	0,95	0,20	22,0	40,7	12,6

Fonte: Bioagri Ambiental (2005).

3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido num delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. As unidades experimentais, constituídas por potes plásticos, constaram de seis subunidades, totalizando 144 subunidades experimentais.

Os potes plásticos transparentes apresentavam as seguintes dimensões: 13 cm de diâmetro x 3 cm de altura, resultando um volume de 397,95 cm³. Os potes foram preenchidos com 200 g de areia, 2 g de solo e com as dosagens de lodo estabelecidas para cada tratamento (com exceção do tratamento testemunha ao qual não foi adicionado o lodo) e as sementes de arroz.

O experimento foi conduzido seguindo a metodologia descrita por Neubauer e Schneider² (1923) modificado por Catani e Bergamin (1961). Este é um método biológico baseado no princípio da absorção intensa de nutrientes por um grande número de plantas cultivadas num pequeno volume de solo. Com a formação de uma extensa rede de raízes em uma pequena quantidade de solo, as plantas são capazes de esgotar o nutriente disponível em curto espaço de tempo.

Neste método modificado utilizou-se como planta-teste o arroz (*Oryza sativa*) variedade IPR-117, proveniente do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, município de Londrina, sendo utilizadas, por pote, respectivamente, 23 sementes no 1º, 40 no 2º e 37 no 3º experimento.

Os tratamentos utilizados tiveram como limite a necessidade do N recomendado para a fase inicial de desenvolvimento da cultura do arroz, sendo esta de 10 kg ha⁻¹ N conforme recomendação de Raij et al. (1996) para o plantio. Os tratamentos utilizados nos experimentos e as respectivas quantidades de N estão indicados na TABELA 4.

TABELA 4 – TRATAMENTOS UTILIZADOS E AS RESPECTIVAS QUANTIDADES DE N.

TRATAMENTO (% de N recomendado)	(Kg ha ⁻¹ de N)	DOSAGENS DE LODO APLICADAS - BASE SECA (kg ha ⁻¹)
T1 - Testemunha	zero	zero
T2 - 12,5	1,25	245,0
T3 - 25	2,5	490,0
T4 - 50	5,0	980,5
T5 - 75	7,5	1471,0
T6 - 100	10,0	1961,0

² NEUBAUER, H.; SCHNEIDER, W. (1923). Die Nährstoffaufnahme des Keimplanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung der Nährstoffgehalts der Boeden. Zeitscher, Pflazenernahrung und Düngung. 2A: 329 -362.

3.3.1 Preparação do substrato

Para a preparação do substrato, inicialmente, efetuou-se a mistura da areia com o solo e posteriormente realizou-se a adubação com o lodo de esgoto nas dosagens estabelecidas. A mistura foi totalmente homogeneizada dentro de cada pote plástico com auxílio de espátula e após o preparo do substrato foi realizada a semeadura do arroz. Após, umedeceu-se a mistura com água destilada-deionizada onde cada pote plástico permaneceu fechado com tampa plástica - de modo a ser mantida a umidade inicial - até à germinação das sementes, que ocorreu após os primeiros três dias da instalação do experimento.

3.3.2 Parâmetros da planta

Iniciada a germinação, retirou-se a tampa plástica e fez-se o acompanhamento do crescimento das plântulas de arroz, mantendo-se a umidade do substrato nos potes por meio de regas diárias com água destilada-deionizada.

Decorridos 27 dias após a germinação das sementes do arroz fez-se a contagem do número de sementes germinadas e a medida da altura da maior plântula em cada unidade experimental. Após o período de 28 dias, as plantas foram colhidas e separadas em parte aérea e raízes, e levadas à estufa para determinação da matéria seca.

A matéria seca, por planta, foi obtida após secagem em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 60°C, até atingir peso constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas e moídas para realização de análises laboratoriais onde foram determinados: N pelo método Kjeldahl; P pelo método colorimétrico; K pela fotometria de chama (HILDEBRAND, 1977).

O substrato resultante de cada tratamento foi acondicionado em sacos plásticos e identificados para posteriores análises laboratoriais.

3.4 ANÁLISES LABORATORIAIS

3.4.1 SUBSTRATO

3.4.1.1 Determinação de pH

No segundo dia após a desinstalação de cada experimento determinou-se o pH do substrato. Foram pesados 10 g do substrato em copo de Becker e adicionados 25 mL de água deionizada, numa relação 1:2,5. Agitou-se esta solução vigorosamente por 10 minutos e em seguida deixou-a em repouso por 30 minutos. Utilizando-se um pH-metro analítico foi medido o pH do sobrenadante.

3.4.1.2 Determinação da Condutividade Elétrica

Para a determinação da condutividade elétrica (TEDESCO et al., 1995) foram pesados 100 g do substrato em Erlenmeyer e adicionados 100 mL de água deionizada, numa relação 1:1. Agitou-se esta solução vigorosamente por 1 minuto e em seguida deixou-se em repouso por 1 hora. Utilizando-se um condutímetro mediu-se a condutividade elétrica do sobrenadante.

3.4.1.3 Contagem da População Microbiana

No dia da instalação de cada experimento, uma amostra do solo utilizado, foi inoculada em meio de cultura JNFb (*Herbaspirillum spp*) segundo Döbereiner et al. (1995) para determinação da população inicial de microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre presentes neste solo. O mesmo ocorreu logo após a coleta

do experimento, em que o substrato foi inoculado em meio de cultura para a determinação final da população de microrganismos.

A contagem da população microbiana do solo e do substrato representada pelos microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre, foi determinada pelo método de diluição em série e contagem em placa de Petri.

Para o solo, as diluições tiveram início com a adição de 10 g de solo úmido, previamente peneirado em malha 2 mm, em 90 mL de solução salina, previamente esterilizada. Por sua vez, para o substrato, as diluições tiveram início com a adição de 10 g de substrato úmido em 90 mL de solução salina, previamente esterilizada.

Nos dois casos, as suspensões formadas para o solo + solução salina e para o substrato + solução salina, foram agitadas durante 30 minutos em agitador mecânico de movimentação circular com aproximadamente 200 rpm e a partir daí, iniciaram-se as diluições decimais seriadas até 10^4 .

Para essa pesquisa, utilizaram-se, tanto para o solo como para o substrato, as diluições 10^3 e 10^4 , inoculando-se 0,1 mL da mistura, para cada diluição, em placas de Petri que continham o meio de cultura JNFb (*Herbaspirillum spp*) segundo Döbereiner et al. (1995). Após a inoculação, as placas foram incubadas, invertidas em estufa, à temperatura de 30 °C, durante um período de 7 dias. Após esse período, realizou-se a contagem da população microbiana que tiveram seus resultados expressos em unidades formadoras de colônias por grama de solo seco (UFC/g de solo seco).

A composição e a metodologia de preparo do meio de cultura utilizado estão descritas no ANEXO 1.

3.4.1.4 Determinação da Respiração Microbiana

No dia 2º dia após a desinstalação do experimento, realizou-se a análise para a determinação da respiração microbiana do substrato, adaptada de Stotzky (1965). Com o objetivo de avaliar a liberação do CO₂ pelo substrato, foram

pesados 100 g do substrato e transferido para o interior de frascos de vidro escuro, juntamente com um tubo de ensaio contendo 15 mL de solução de hidróxido de sódio 0,5 N, para reagir com o CO₂ liberado e um outro tubo contendo água deionizada para manter a umidade do ambiente. Os frascos foram fechados hermeticamente, sendo incubados em estufa a temperatura de 25 °C por um período de 10 dias. Fez-se a prova em branco, incubando-se um frasco sem o substrato.

Após o período de incubação, retiraram-se 10 mL de NaOH 0,5N do tubo que estava no interior do frasco. Transferiu-se esse volume para um Erlenmeyer de 125 mL, acrescentando-se 1 mL de BaCl₂ 50% e 3 gotas do indicador fenolftaleína, titulando-se cada amostra com solução de HCl 0,5 N padronizado.

O cálculo para a estimativa da quantidade de CO₂ foi realizado de acordo com a fórmula:

$$\frac{\text{mg C-CO}_2}{(100 \text{ g de solo seco})} = (B - A) \times N \times E \times Fu \times FD$$

onde:

B = volume de HCl 0,5 N gasto para titular a base da prova em branco;

A = Volume de HCl gasto para titular cada amostra;

N = normalidade do ácido padronizado;

E = equivalente grama do carbono, que é igual a 6.

Fu = Fator umidade (solo úmido/solo seco)

FD = fator diluição= Volume do NaOH (15 mL)/10 mL (volume de solo na diluição)

3.4.2. PLANTA

3.4.2.1 Análises de nutrientes

Os nutrientes analisados, como parâmetros nutricionais da parte aérea e raiz da planta do arroz, foram: N, P e K.

Os teores de nitrogênio total das amostras foram determinados pelo método Micro-Kjeldhal, o teor fósforo foi determinado por colorimetria e de potássio por fotometria de chama (HILDEBRAND, 1977). O balanço de nitrogênio total considerou a entrada de N como sendo proveniente das dosagens de lodo de cada tratamento, do substrato (solo + areia), da água adicionada durante o experimento (ANEXO 6) e o da semente. Como saída de N foi considerada as médias de matéria seca da parte aérea e da raiz e seus respectivos teores no tecido vegetal.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Utilizou-se nos experimentos o delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições.

Todos os resultados para os parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES QUÍMICAS DO SUBSTRATO

4.1.1 pH

Os resultados das determinações dos valores de pH do substrato nos três experimentos são descritos na TABELA 5.

TABELA 5 - pH DO SUBSTRATO EM H₂O (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

TRATAMENTO	(Kg ha ⁻¹ de N)	1º EXPERIMENTO	2º EXPERIMENTO	3º EXPERIMENTO
T1	zero	6,65 d	6,30 c	6,65 c
T2	1,25	7,30 c	6,45 c	7,40 b
T3	2,5	7,32 c	6,50 bc	7,52 b
T4	5,0	7,92 b	6,90 b	8,15 a
T5	7,5	8,45 ab	7,32 a	8,45 a
T6	10,0	8,70 a	7,60 a	8,32 a
---CV %---	-	3,32	2,64	3,50

¹ - Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 1 % de probabilidade.

Com base nos valores encontrados para o pH, após 31 dias da aplicação do lodo alcalinizado, observa-se que houve uma elevação deste parâmetro para os três experimentos conforme foram aumentadas as dosagens do lodo, sendo uma das justificativas para tal ocorrência o fato do lodo utilizado nos experimentos apresentar um alto teor alcalino (pH 12,6, TABELA 3) e o substrato ser composto de areia com apenas 1% de solo.

Conforme TABELA 2, o solo utilizado no presente trabalho apresenta, em média, 36% de carbono orgânico em sua composição, indicando que os teores de matéria orgânica do mesmo são superiores a 6%. Sabe-se que a matéria orgânica presente no solo influencia no controle do pH do solo devido a seu efeito tampão (LUCHESE et al., 2002), entretanto, a areia presente no substrato pode ter provocado uma redução no efeito tampão, provavelmente ocasionando elevações nos valores de pH muito maiores do que se o substrato fosse constituído somente por solo.

Desta forma, em substratos com baixo poder tampão, a adição do lodo alcalinizado poderá ser limitante para o desenvolvimento de muitas plantas, como fora observado por Chueiri (2001), para a planta de trigo, a qual apresentou limitações de crescimento em pH (CaCl_2) superior a 6,7, principalmente pela redução na absorção do Mn. Tal efeito deve-se, provavelmente, ao fato do pH interferir amplamente nos processos de solubilidade de íons, concentração de nutrientes no solo, além da absorção e utilização destes pela planta (FAGERIA et al., 1997; MOREIRA et al., 2000).

Observa-se ainda na TABELA 5, que para os três experimentos, os valores encontrados para os tratamentos com doses mais elevadas que $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ foram iguais e/ou superiores aos demais tratamentos, indicando a necessidade de monitoramento da disponibilidade de nutrientes em solos com baixo poder tampão.

Casos de elevação de pH também foram encontrados com adição de lodo não alcalinizado, a que Berton et al. (1989) atribuíam á combinação da amônia liberada pela decomposição de compostos orgânicos presentes no lodo com os prótons do solo, formando íon amônio (NH_4^+). Este efeito pode ser considerado mínimo para as condições do presente experimento, devido à pequena proporção de solo (2 g) presente no substrato.

Já para lodos alcalinizados, o aumento do pH do solo em função da aplicação do lodo, também foi constatado por Bettiol e Camargo (2000), Tsutiya (2001) e ainda por Silva et al. (1998), que em trabalho desenvolvido com cana-de-

açúcar, constatou uma elevação do pH em solo (Terra Roxa Estruturada), em um período de 114 dias após a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto.

Conforme Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004), a cultura do arroz apresenta o seu melhor desenvolvimento em solos com pH 5,5. Embora o solo apresentasse variações iniciais de pH (CaCl₂) de 5,1 a 5,3 (TABELA 2), a areia utilizada na metodologia já provocou elevação do pH em água para valores de 6,3 a 6,6 conforme o tratamento testemunha da TABELA 5. Cabe lembrar que quando os trabalhos se referem ao pH do solo, os autores estão enfocando, entre outros fatores do solo, a disponibilidade dos nutrientes relacionadas à capacidade de adsorção. Assim, no substrato com 99% de areia e 1% de solo (2g em 200 g de areia), a variação do pH deste experimento terá seus efeitos mais voltados à liberação de nutrientes pela atividade microbiana.

4.1.2 Condutividade Elétrica

Os resultados das determinações dos valores da condutividade elétrica (dS m⁻¹) do substrato nos três experimentos são descritos na TABELA 6.

TABELA 6 - CONDUTIVIDADE (dS m⁻¹) DO SUBSTRATO (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

TRATAMENTO	(Kg ha ⁻¹ de N)	1º EXPERIMENTO	2º EXPERIMENTO	3º EXPERIMENTO
T1	zero	0,033 d	0,006 c	0,006 d
T2	1,25	0,053 d	0,009 bc	0,008 d
T3	2,5	0,079 c	0,010 bc	0,013 c
T4	5,0	0,097 c	0,013 b	0,019 b
T5	7,5	0,129 b	0,017 a	0,024 b
T6	10,0	0,153 a	0,020 a	0,029 a
---CV %---	-	11,10	14,58	12,93

† - Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 1 % de probabilidade.

Verifica-se com os valores encontrados na tabela acima que houve um aumento na condutividade elétrica conforme aumentadas as dosagens do lodo, sendo que estes não ultrapassaram os limites adequados para a cultura do arroz, que segundo Maas (1985) é sensível a uma CE limite de 3 dS m^{-1} . Esses resultados estão de acordo com aqueles observados por Boeira et al. (2002) e Oliveira et al. (2002) que também observaram elevação nos valores da condutividade elétrica com o aumento das dosagens de lodo.

Embora o pH do substrato, já citado anteriormente, tenha superado os níveis adequados para o crescimento de muitas culturas, a condutividade elétrica, mesmo na maior dose de lodo, não refletiu este comportamento, devido provavelmente, à quantidade de lodo utilizada no presente trabalho, que em comparação à outras pesquisas desta área, é bem inferior às dosagens de lodo utilizadas (BOEIRA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2002).

Considerando a diferença de valores entre os experimentos, que variaram de $0,053$ a $0,153 \text{ dS m}^{-1}$ no 1º experimento, de $0,006$ a $0,020 \text{ dS m}^{-1}$ no 2º experimento e de $0,006$ a $0,029 \text{ dS m}^{-1}$ no 3º experimento, sugere-se que os valores encontrados para o 1º experimento, os quais foram superiores aos demais experimentos, estejam relacionados à origem da areia utilizada no substrato (conforme descrito no item Materiais e Métodos).

Observa-se ainda que houve diferenças significativas entre os tratamentos para os três experimentos. Para o 1º e 3º experimento, observouse diferença significativa entre a maior dose de lodo de esgoto alcalinizado e os demais tratamentos. Já para o 2º experimento, esta diferença ocorreu entre as dosagens superiores a $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ e os demais tratamentos.

4.2 ANÁLISE DA PLANTA – PARTE AÉREA E RAIZ.

4.2.1 Germinação das sementes de Arroz.

Os resultados obtidos para as determinações da germinação das sementes de arroz nos três experimentos são descritos na TABELA 7.

TABELA 7 - GERMINAÇÃO DAS SEMENTES DE ARROZ (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

TRATAMENTO	(Kg ha ⁻¹ de N)	1º EXPERIMENTO	2º EXPERIMENTO	3º EXPERIMENTO
T1	zero	18,87 ^{ns}	27,70 ab	19,13 b
T2	1,25	18,70	31,33 ab	23,00 ab
T3	2,5	17,91	32,99 a	27,06 a
T4	5,0	16,58	30,95 ab	30,00 a
T5	7,5	15,28	25,08 bc	27,81 a
T6	10,0	16,95	18,54 c	28,25 a
----CV %---	-	9,41	12,19	13,09

1- Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 1 % de probabilidade. 2- ns: não significativo a 1 % de probabilidade pelo Teste de Tukey. 3 - Foram utilizadas, por unidade experimental, 23 sementes no 1º, 40 sementes no 2º e 37 sementes no 3º experimento.

Com base nos resultados encontrados na tabela acima, verifica-se que para o 1º experimento, em média, que das 23 sementes utilizadas somente 75,5% germinaram. Já para o 2º e 3º experimento, em média, das 40 e 37 sementes utilizadas, somente 69,4% e 69,9 %, respectivamente, germinaram. Uma das justificativas para a ocorrência desse fato pode ser explicada pelas condições ambientais entre as épocas do experimento.

Tendo em vista que a condutividade elétrica no presente trabalho apresentou valores bem abaixo dos limites considerados para a cultura do arroz, constata-se que, neste caso, este parâmetro não teria potencial de interferência na

germinação. Muitos trabalhos apresentaram influência da condutividade elétrica na germinação do arroz (LIMA et al., 2005; MELO et al., 2006), porém, esses autores fizeram uso de materiais em dosagens com alto teor de salinidade, quando comparadas a este trabalho.

Em comparação à testemunha, as melhores germinações ocorreram nas dosagens menores que 5,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio para o 2º experimento, o que evidenciou um efeito negativo das maiores doses de lodo aplicadas. Entretanto, o mesmo não ocorreu para o 3º experimento, no qual as melhores respostas se deram nas dosagens maiores que 2,5 kg ha⁻¹.

4.2.2 Altura da parte aérea de plantas de arroz.

Os resultados obtidos para o parâmetro da altura de plantas de arroz nos três experimentos são descritos na TABELA 8.

TABELA 8 - ALTURA (cm) DA PARTE AÉREA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

TRATAMENTO	(Kg ha ⁻¹ de N)	1º EXPERIMENTO	2º EXPERIMENTO	3º EXPERIMENTO
T1	zero	15,65 c	23,88 bc	26,02 ^{ns}
T2	1,25	16,52 ab	23,29 c	24,59
T3	2,5	15,85 bc	24,35 abc	24,87
T4	5,0	16,40 abc	25,48 a	24,59
T5	7,5	16,78 a	25,39 ab	25,12
T6	10,0	17,05 a	24,10 abc	26,21
----CV %---	-	2,30	2,71	4,71

1- Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade. 2 – ns: não significativo a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Com relação aos valores encontrados para a altura de plantas, para os três experimentos, verificou-se que o experimento 1 foi o que obteve os menores

valores para esse parâmetro. Como a temperatura e luminosidade são fatores climáticos que influenciam o crescimento e o desenvolvimento do arroz, constata-se que os menores valores encontrados no 1º experimento devem-se a esses fatores, pois enquanto temperaturas e luminosidades elevadas, como as encontradas em casa de vegetação, podem interferir na cultura tanto no período de germinação quanto no estágio de plântula (WREGGE et al., 2001).

Ao considerar as médias de tratamentos obtidas para altura da planta nos seis tratamentos no 1º experimento, verifica-se que as doses maiores que 7,5 kg ha⁻¹ diferiram significativamente da testemunha. Já no 2º experimento, a dose de lodo equivalente a 5,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio diferiu da dose 1,25 kg ha⁻¹ e da testemunha.

4.2.3 Massa Seca da Parte aérea e Raiz da Planta.

Os resultados obtidos para as determinações da Massa Seca da Parte aérea e Raiz da Planta nos três experimentos são apresentados na TABELA 9.

TABELA 9 - MASSA SECA (mg planta⁻¹) DA PARTE AÉREA (PA) E RAIZ DA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

Tratamento	(Kg ha ⁻¹ de N)	1º EXPERIMENTO		2º EXPERIMENTO		3º EXPERIMENTO	
		PA	RAIZ	PA	RAIZ	PA	RAIZ
T1	zero	131,42 ^{ns}	67,53 ^{ns}	121,47 ^{ns}	48,57 a	97,19 a	39,30 a
T2	1,25	133,19	69,37	112,06	50,05 a	78,87 ab	33,33 ab
T3	2,5	157,20	77,86	88,47	45,89 ab	65,99 bc	29,46 ab
T4	5,0	159,68	68,30	94,90	36,86 bc	53,85 c	29,09 ab
T5	7,5	156,13	67,66	89,17	27,89 c	58,49 bc	28,22 b
T6	10,0	150,07	73,14	95,85	30,82 c	60,18 bc	27,13 b
----CV %---	-	14,13	10,80	17,90	10,88	25,62	15,22

1- Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 1 % de probabilidade.

2- ns: não significativo a 1 % de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Considerando a diferença de valores encontrados para a massa seca tanto para parte aérea como para raiz entre os experimentos, sugere-se que estes estejam relacionados ao número de plantas concorrentes pelo substrato e também à época de cultivo, pois temperatura, luminosidade e fotoperíodo são fatores que interferem no desenvolvimento da cultura do arroz (FERRAZ, 1983; STEINMETZ e MEIRELES, 1999).

De acordo com as análises do teste de tukey, verifica-se que os melhores resultados para a produção de matéria seca na parte aérea em comparação à testemunha, foram encontrados para a dose de lodo equivalente a 1,25 kg ha⁻¹ de nitrogênio para o 3º experimento.

Para a produção de matéria seca na raiz, no 2º experimento, os melhores resultados em comparação à testemunha foram encontrados para as doses menores que 2,5 kg ha⁻¹. Porém, para o 3º experimento os melhores resultados para a raiz foram encontrados para as doses menores que 5,0 kg ha⁻¹ em comparação à testemunha, o que demonstra que o aumento da dose de N reflete até um limite de matéria seca, embora o presente trabalho não tenha excedido a recomendação de plantio (RAIJ et al., 1996).

Isto pode ser evidenciado por Maccari (2003), que em trabalho em casa de vegetação com inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* em arroz e com a aplicação de solução nutritiva em dosagens crescentes de NH₄NO₃ (0 mmol/L, 0,2 mmol/L e 4mmol/L), constatou que a produção de matéria seca das raízes foi maior nas plantas inoculadas sem aplicação de nitrogênio ou na menor dosagem aplicada no meio de cultivo, sugerindo que a fixação biológica de nitrogênio não é o único fator envolvido na contribuição de *H. seropedicae* ao crescimento da planta de arroz.

Verifica-se na TABELA 9 uma redução na produção da matéria seca em relação à testemunha com o aumento das dosagens de lodo, tanto para a parte aérea do 3º experimento quanto para a raiz nos outros dois experimentos. Isto sugere que em comparação ao trabalho de Maccari (2003), estes resultados não apresentam apenas influência do lodo usado como fonte de nitrogênio, mas podem também estar relacionados, entre outros fatores, aos valores mais

elevados do pH nas maiores doses de lodo aplicadas, com possíveis reflexos na disponibilidade de nutrientes (FAGERIA, 1984; BISSANI et al., 2006).

4.2.4 TEOR NUTRICIONAL PARTE AÉREA E RAIZ DE PLANTAS DE ARROZ

4.2.4.1 Teor de Nitrogênio Total na parte aérea e raiz da planta.

Os resultados obtidos para as determinações do Teor de Nitrogênio Total na parte aérea e raiz da planta nos três experimentos são descritos na TABELA 10.

TABELA 10 - TEOR DE NITROGÊNIO TOTAL (g kg^{-1}) NA PARTE AÉREA (PA) E RAIZ DA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

Tratamento	(Kg ha^{-1} de N)	1º EXPERIMENTO		2º EXPERIMENTO		3º EXPERIMENTO	
		PA	RAIZ	PA	RAIZ	PA	RAIZ
T1	zero	15,92 a	14,53 a	19,78 ns	10,33 ns	19,78 ns	13,10 ns
T2	1,25	14,22 ab	8,40 b	22,50	18,97	21,49	12,29
T3	2,5	14,65 a	11,79 ab	17,42	14,84	16,33	17,38
T4	5,0	15,21 a	8,39 b	22,17	10,45	20,56	12,90
T5	7,5	11,99 b	7,40b	22,51	11,01	21,74	12,49
T6	10,0	14,09 ab	9,33 ab	22,39	12,87	21,78	9,35
---CV %---	-	7,45	24,57	11,80	31,34	17,24	54,00

1- Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 1 % de probabilidade.

2- ns: não significativo a 1 % de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Conforme pode ser observado na tabela 10, os teores totais de N encontrados para o 1º experimento apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos em função das doses de lodo aplicadas, concordando com os resultados encontrados no trabalho de Vieira et al. (2005). Embora, no presente trabalho, a dose de $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ N, que apresentou o menor teor em relação à

testemunha, não esteja relacionada com alteração significativa na matéria seca (TABELA 9), indicando não ter ocorrido efeito de diluição do nutriente.

Assim, como já mencionado anteriormente, Malavolta e Fornasieri Filho (1983), afirmam que as variedades de sequeiro, como a utilizada na presente pesquisa, respondem relativamente menos ao N que as irrigadas e sempre que o N for aplicado em altas doses, poderá ocorrer acamamento e queda de produção da cultura.

No entanto, os teores de N total encontrados no 1º experimento para a parte aérea da planta utilizada neste trabalho, para cada tratamento, estão um pouco abaixo da faixa considerada normal para essa cultura que é de 20 a 30 g kg⁻¹ de matéria seca para plantas em pleno desenvolvimento (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004), haja vista que no presente trabalho avaliou-se este parâmetro para plântulas de arroz, justificando assim tal diferença para o resultado encontrado. Para o 2º e 3º experimentos os resultados para cada tratamento encontram-se dentro da faixa estabelecida, com exceção do tratamento 3 em que os valores encontrados para a parte aérea dos dois experimentos estão um pouco abaixo desses limites.

Cabe ressaltar que os experimentos que tiveram menor produção de matéria seca foram os que apresentaram as maiores concentrações de N. Sendo assim, conclui-se que houve um acúmulo de N nos tecidos da planta que não foi utilizado para o seu desenvolvimento.

4.2.4.1.1 Balanço de Nitrogênio – N/ Entrada e N/ extraído

Os resultados obtidos para as determinações do balanço de nitrogênio nos três experimentos são descritos nas TABELAS 11, 12 e 13, respectivamente.

Com os resultados obtidos para o parâmetro balanço de N para os três experimentos (TABELAS 11,12 e 13), constata-se que a quantidades de N de entrada foram superiores às quantidades de N extraídas pela planta. Isto pode ser justificado pelo pouco tempo de avaliação dos experimentos, proposto pela

metodologia seguida neste trabalho, pois devido ao curto período de avaliação, a planta ainda não havia exaurido todo o conteúdo desse nutriente presente na semente e no substrato. Então, faz-se necessário um maior tempo de avaliação ou mudanças metodológicas, a fim de permitir uma melhor avaliação da liberação do N orgânico.

TABELA 11 – BALANÇO DE N - 1º EXPERIMENTO

TRATAMENTOS	N/ENTRADA				N/EXTRAÍDO			BALANÇO DE N (1) – (2) (g kg ⁻¹)
	Lodo (g)	Substrato + água (g)	Sementes (23) (g)	Total N Entrada (g) (1)	MSPa (g kg ⁻¹)	MSR (g kg ⁻¹)	Total N Saída (g) (2)	
T1	0	0,183	0,14	0,323	0,039	0,018	0,057	0,266
T2	0,000125	0,183	0,14	0,3231	0,035	0,011	0,046	0,277
T3	0,00025	0,183	0,14	0,3232	0,041	0,016	0,057	0,266
T4	0,0005	0,183	0,14	0,3235	0,040	0,009	0,049	0,274
T5	0,00075	0,183	0,14	0,3237	0,028	0,008	0,036	0,288
T6	0,001	0,183	0,14	0,324	0,036	0,011	0,047	0,277

1- MSPa: Massa seca parte aérea. 2 – MSR: Massa seca raiz. 3- Substrato: solo + areia.

TABELA 12 – BALANÇO DE N – 2º EXPERIMENTO

TRATAMENTOS	N/ENTRADA				N/EXTRAÍDO			BALANÇO DE N (1) – (2) (g kg ⁻¹)
	Lodo (g)	Substrato + água (g)	Sementes (40) (g)	Total N Entrada (g) (1)	MSPa (g kg ⁻¹)	MSR (g kg ⁻¹)	Total N Saída (g) (2)	
T1	0	0,153	0,25	0,403	0,066	0,014	0,08	0,323
T2	0,000125	0,153	0,25	0,4031	0,079	0,029	0,108	0,295
T3	0,00025	0,153	0,25	0,4032	0,050	0,022	0,072	0,331
T4	0,0005	0,153	0,25	0,4035	0,065	0,012	0,077	0,326
T5	0,00075	0,153	0,25	0,4037	0,050	0,0077	0,0577	0,346
T6	0,001	0,153	0,25	0,404	0,026	0,0073	0,0333	0,371

1- MSPa: Massa seca parte aérea. 2 – MSR: Massa seca raiz. 3- Substrato: solo + areia.

TABELA 13 – BALANÇO DE N - 3º EXPERIMENTO

TRATAMENTOS	N/ENTRADA				N/EXTRAÍDO			BALANÇO DE N (1) – (2) (g kg ⁻¹)
	Lodo (g)	Substrato + água (g)	Sementes (37) (g)	Total N Entrada (g) (1)	MSPa (g kg ⁻¹)	MSR (g kg ⁻¹)	Total N Saída (g) (2)	
T1	0	0,153	0,23	0,383	0,035	0,0096	0,0446	0,338
T2	0,000125	0,153	0,23	0,3831	0,036	0,0092	0,0452	0,338
T3	0,00025	0,153	0,23	0,3832	0,029	0,0135	0,0425	0,341
T4	0,0005	0,153	0,23	0,3835	0,033	0,0112	0,0442	0,339
T5	0,00075	0,153	0,23	0,3837	0,035	0,0097	0,0447	0,339
T6	0,001	0,153	0,23	0,384	0,038	0,0072	0,0452	0,339

1- MSPa: Massa seca parte aérea. 2 – MSR: Massa seca raiz. 3- Substrato: solo + areia.

Sendo assim, verifica-se que a metodologia aplicada não foi eficiente, havendo a necessidade de continuar esta linha de pesquisa com modificações metodológicas, tais como a determinação da quantidade de N mineralizado e utilização de plantas com baixa reserva de N na semente, bem como a ampliação do período de avaliação com provável aumento do número de repetições, objetivando a redução do coeficiente de variação para alguns parâmetros avaliados.

4.2.4.2 Teor de Fósforo na parte aérea e raiz da planta.

Os resultados obtidos para as determinações do Teor de Fósforo na parte aérea e raiz da planta nos três experimentos são descritos na TABELA 14.

Embora neste trabalho as avaliações realizadas sejam para plântula do arroz, os teores obtidos na análise do fósforo, em todos os experimentos, ficaram próximos daqueles potencialmente possíveis para a parte aérea da cultura do arroz em pleno desenvolvimento, que é 2,5 a 4,0 g kg⁻¹ (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004).

TABELA 14 - TEOR DE FÓSFORO (g kg^{-1}) NA PARTE AÉREA E RAIZ DA PLANTA
(MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

Tratamento	(Kg ha^{-1} de N)	1º EXPERIMENTO		2º EXPERIMENTO		3º EXPERIMENTO	
		PA	RAIZ	PA	RAIZ	PA	RAIZ
T1	zero	3,07 ^{ns}	0,42 ab	1,21 ^{ns}	- nd	3,13 ^{ns}	- nd
T2	1,25	2,71	0,41 ab	1,10	-	2,78	-
T3	2,5	2,61	0,15 b	1,93	-	2,62	-
T4	5,0	2,49	0,50 a	1,47	-	2,63	-
T5	7,5	3,98	0,40 ab	1,62	-	2,26	-
T6	10,0	1,82	0,24 ab	1,58	-	2,42	-
---CV %---	-	43,41	34,80	29,04	-	13,70	-

1- Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 1 % de probabilidade.

2- ns: não significativo a 1 % de probabilidade pelo Teste de Tukey. 3 - nd: não detectado.

Os melhores resultados para esse parâmetro (parte aérea/teor de fósforo) foram encontrados para o 1º e 3º experimento, o mesmo não ocorrendo para o 2º experimento, cujos valores encontrados ficaram um pouco abaixo da faixa aceitável para a cultura.

Conforme pode ser observado na tabela 14, somente os teores totais de P encontrados na raiz da planta, para o 1º experimento, apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos em função das doses de lodo aplicadas. Esta diferença ocorreu entre as doses de lodo equivalentes a $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ e a $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio.

Como na adição do N na forma de lodo também se adiciona P, sugere-se que este seja mais um fator interferente no teor de P encontrado. Cabe lembrar que segundo FAGERIA (1984), a interação entre nutrientes é um fator de grande importância, pois, em trabalho realizado pelo autor com aplicação de solução nutritiva na cultura do arroz, comprovou que as concentrações da solução nas maiores doses de N diminuem a absorção do P.

4.2.4.3 Teor de Potássio na parte aérea e raiz da planta.

Os resultados obtidos para as determinações do Teor de Potássio na parte aérea e raiz da planta nos três experimentos são descritos na TABELA 15.

Observa-se pela TABELA 15, que houve diferença significativa entre os tratamentos para parte aérea do 1º experimento e raiz do 1º e 2º experimentos. O teor de potássio na parte aérea da planta no 1º experimento apresentou diferença significativa entre a dose de lodo equivalente 7,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio e a testemunha. Para a raiz no 2º experimento esta diferença significativa ocorreu entre a maior dose de lodo aplicada e as dosagens menores que 5,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

TABELA 15 - TEOR DE POTÁSSIO (g kg⁻¹) NA PARTE AÉREA E RAIZ DA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

Tratamento	(Kg ha ⁻¹ de N)	1º EXPERIMENTO		2º EXPERIMENTO		3º EXPERIMENTO	
		PA	RAIZ	PA	RAIZ	PA	RAIZ
T1	zero	5,53 b	6,89ab	5,77 ^{ns}	2,54 b	10,21 ^{ns}	3,63 ^{ns}
T2	1,25	5,81 ab	6,97 ab	6,32	2,58 b	9,08	4,80
T3	2,5	6,25 ab	5,90 c	6,03	2,76 b	7,85	3,02
T4	5,0	6,69ab	6,92 ab	7,24	3,16 b	7,64	4,99
T5	7,5	8,16 a	7,73 a	8,90	3,36ab	7,91	4,62
T6	10,0	4,89b	6,39 bc	8,98	4,13 a	7,62	4,65
---CV %---	-	16,44	5,59	28,87	15,92	19,89	31,46

1- Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 1 % de probabilidade.

2- ns: não significativo a 1 % de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Considerando-se a concentração desse elemento no biossólido e a fase de arroz em que foi realizada a avaliação desse parâmetro, os teores obtidos na análise do potássio ficaram abaixo daqueles potencialmente possíveis para a parte aérea da cultura do arroz em pleno desenvolvimento, que é 13 a 30 g kg⁻¹ (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004). Os três experimentos

apresentaram resultados bem parecidos conforme pode ser observado na tabela 15.

No caso de lodo de esgoto alcalinizado, como o teor de cálcio é elevado devido ao uso de cal no processo de produção, ocorre uma redução ainda maior na absorção de potássio pela planta, uma vez que tais elementos são antagônicos (MELO e MARQUES, 2000).

Como o N na forma de lodo que foi adicionado nos tratamentos vem acompanhado de K, acredita-se que este seja um fator que pode ter influenciado na absorção deste elemento, pois como citado anteriormente, FAGERIA (1984), desenvolveu um trabalho com solução nutritiva, onde o teor de K na parte aérea da planta do arroz aumentou em baixas concentrações de N, mas diminuiu em altas concentrações deste nutriente.

4.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO SUBSTRATO

4.3.1 Contagem Inicial e final da população de microrganismos fixadores de Nitrogênio de vida livre.

Na TABELA 16 apresenta-se a densidade de microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre na amostra inicial do solo coletada para cada experimento e na TABELA 17 os resultados da densidade final de microrganismos presentes no substrato nos seis tratamentos para cada experimento.

Conforme a TABELA 16, verifica-se que houve variação na contagem inicial da população de microrganismos, devido às condições ambientais que foram variáveis entre as datas de coleta dos solos para cada experimento.

Comparando as Tabelas 16 e 17 de contagem inicial e contagem final, respectivamente, para a determinação da população microbiana nos dois primeiros experimentos, observa-se que houve um aumento no número de microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre, o qual foi superior a 100%,

com a adição do lodo de esgoto no solo. Embora tenha havido aumento na contagem, não houve efeito do tratamento e nem da variação do pH do substrato.

TABELA 16- CONTAGEM INICIAL DA POPULAÇÃO DE MICRORGANISMOS FIXADORES DE NITROGÊNIO DE VIDA LIVRE.

EXPERIMENTOS	BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO DE VIDA LIVRE
-----UFC x 10 ⁴ /g de solo seco-----	
1º EXPERIMENTO	36,2
2º EXPERIMENTO	35,3
3º EXPERIMENTO	47,4

TABELA 17- CONTAGEM FINAL DA POPULAÇÃO DE MICRORGANISMOS FIXADORES DE NITROGÊNIO DE VIDA LIVRE (UFC/g solo seco) DO SUBSTRATO (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

TRATAMENTO	(Kg ha ⁻¹ de N)	1º EXPERIMENTO	2º EXPERIMENTO	3º EXPERIMENTO
-----UFC x 10 ⁴ /g de solo seco-----				
T1	zero	75,04 ^{ns}	71,50 ^{ns}	99,45 a
T2	1,25	90,78	77,49	74,75 ab
T3	2,5	96,48	81,90	50,05 b
T4	5,0	84,42	97,33	62,72 ab
T5	7,5	77,38	97,96	79,54 ab
T6	10,0	77,72	92,61	87,42 ab
-----CV %-----	-	19,23	34,96	21,66

1- Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 1 % de probabilidade. 2- ns: não significativo a 1% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

A influência das doses de lodo podem se dar muito mais pelas alterações químicas e físicas que estas venham provocar no ambiente do que pela adição da população microbiológica, a qual é extremamente reduzida pelo processo de higienização a que foi submetida. Assim, observa-se que a quantidade de matéria

orgânica presente neste lodo não interferiu na contagem microbiológica devido ao curto período do experimento e à variação climática.

Analisando os resultados da Tabela 17, verifica-se que a maior média de ocorrência entre os microrganismos estudados foi para a média com valor mais elevado para os tratamentos 2 e 3 no 1º experimento, que apresentou valores de 90,78 a 96,48 x 10⁴ UFC/ g de solo seco respectivamente. Para o 2º experimento, os maiores valores foram encontrados nos tratamentos 4 e 5, que variaram de 97,33 a 97,96 x 10⁴ UFC/ g de solo seco, respectivamente.

Importante observar que para os dois primeiros experimentos não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos. Já para o 3º experimento, com base nos resultados obtidos, observa-se que houve diferença significativa entre a dose de lodo equivalente 2,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio e a testemunha.

Estes resultados podem ser atribuídos, além das variações climáticas ocorridas devido às diferentes épocas dos experimentos, também aos resultados encontrados para a matéria seca na testemunha (TABELA 9). Como o crescimento da planta testemunha foi maior, isto provavelmente fez com que houvesse uma maior quantidade de excreções sendo liberadas para a rizosfera, estimulando o aumento da população microbiana de fixadores de nitrogênio de vida livre.

4.3.2 Respiração Microbiana (Liberação de CO₂) do Substrato

Os resultados da determinação da Respiração microbiana (mg C-CO₂/g de solo) do substrato nos três experimentos são descritos na TABELA 18.

A quantidade total de CO₂ liberada depende da natureza do material, dos microrganismos envolvidos e das condições de decomposição, entre elas a umidade, a temperatura e o pH do meio.

TABELA 18- RESPIRAÇÃO MICROBIANA (LIBERAÇÃO DE CO₂) DO SUBSTRATO (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

TRATAMENTO	(Kg ha ⁻¹ de N)	1º EXPERIMENTO	2º EXPERIMENTO	3º EXPERIMENTO
T1	zero	10,10 ^{ns}	14,03 ab	11,16 ^{ns}
T2	1,25	12,21	13,61 ab	8,63
T3	2,5	13,15	13,33 ab	5,70
T4	5,0	14,21	12,76 b	8,34
T5	7,5	16,73	15,03 ab	9,80
T6	10,0	12,96	15,73 a	10,68
---CV %---	-	22,93	8,33	27,09

1 - Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 2 – ns: não significativo a 1 % de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Sendo assim, pelos resultados obtidos na tabela acima, observa-se que no 2º experimento houve diferença significativa entre a maior dose de lodo de esgoto alcalinizado e a dose de lodo equivalente 5,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio e como a respiração é o resultado da atividade total de diversos grupamentos microbianos, influenciados por vários fatores, os dados aqui obtidos sugerem que esta maior liberação de CO₂ tenha sido consequência da maior adição de matéria orgânica, consequentemente, maior adição de nitrogênio.

Verifica-se ainda na tabela 18 que para o 1º e 3º experimento não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, estando estes resultados de acordo com os encontrados por Almeida (2003), que sob condições diversas deste trabalho, verificou um aumento na taxa de respiração conforme aumentava as doses de lodo de esgoto, porém sem diferenças significativas.

CONCLUSÕES

1- Para as maiores doses de N aplicadas, na forma de lodo de esgoto, a produção da matéria seca da parte aérea (3º experimento) e da raiz do arroz (2º e 3º experimentos) foi inferior à testemunha.

2- A adição do lodo de esgoto em dosagens crescentes promoveu um aumento no pH do substrato superando os níveis adequados para o crescimento de várias culturas.

3- A condutividade elétrica do substrato aumentou com o aumento das doses de lodo de esgoto, porém, os valores obtidos não ultrapassaram os limites adequados para a cultura do arroz.

4- A maior taxa de respiração microbiana foi encontrada, no 2º experimento, para maior dose de lodo aplicada. Entretanto, a maior população de microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre ocorreu no 3º experimento para o tratamento testemunha, onde a produção de matéria seca da parte aérea e raiz da planta também foi maior.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou o efeito do lodo de esgoto em plantas de arroz não desenvolvidas completamente, portanto, estudos adicionais são necessários a fim de dar continuidade a esta linha de pesquisa, identificando outros fatores responsáveis pelos resultados aqui encontrados.

REFERÊNCIAS

ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F.; ALVAREZ, F.C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto de lixo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24: 635 - 647, 2000.

ALMEIDA, W.C. **Análise da respiração microbiana e das populações de Acari e Collembola na recuperação de áreas degradadas com a utilização do lodo de esgoto**. Curitiba, 2003. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ALVES, B.J.R.; ZPTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Transformações do nitrogênio em rotações de culturas sob sistema plantio direto. In: WORKSHOP: NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA. **Anais...** Dourados: Embrapa, 2000. p. 9-31.

ANDREOLI, C.A.; FERREIRA, A.C.; CHERUBINI, C.; CARNEIRO, C.; TELES, C.R.; FERNANDES, F. Higienização do Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C.V. et al. **Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Editora RiMa, Curitiba, 2001. p. 87 - 116.

ANSELMINI, R. **Arroz: o prato do dia na mesa e na lavoura brasileira**. São Paulo: Ícone, 1988.

BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D.; SELDIN, L.; DÖBEREINER, J. Characterization of *Herbaspirillum seropedicae* gen. nov., sp. nov., a root-associated nitrogen-fixing bacterium. **Int. J. Syst. Bacteriol.**, Reading, v.36, p.86 - 93, 1986.

BERTON, R. S.; CAMARGO, A. O.; VALADARES, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 187-192, 1989.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2000.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T.; FRANCO, B. J. D. C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O Solo**, Piracicaba, v. 75, n. 1, p. 44-54, 1983.

BISSANI, C. A.; MEURER, E. J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E.J (Ed.). **Fundamentos de Química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p. 163 – 184.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, 2002.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BUZETTI, S.; BAZANINI, G.C.; FREITAS, J.G.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E de. ; MEIRA, F.A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2303-2307, 2000.

CARDOSO, E.J.B.N.; FORTES NETO, P. Aplicabilidade do bio-sólido em plantações florestais: III. Alterações microbianas no solo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2000. p.197 - 202.

CATANI, R.A.; BERGAMIN FILHO, H. **Sobre uma modificação no método de Neubauer**. An. ESALQ. Piracicaba, 18: 287 - 299, 1961.

CERETTA, C. A. Dinâmica do nitrogênio em sistemas de produção na Região Sul do Brasil. In: WORKSHOP: NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA. **Anais...** Dourados: Embrapa, 2000. p. 32-47.

CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas**: critérios para projetos e operação. São Paulo, 1999. (Manual Técnico, Norma P4230).

CHERUBINI, C. **Secagem e higienização do lodo de esgoto anaeróbio em leitos de secagem através da solarização**. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CHUEIRI, W.A. **Lodo de esgoto alcalino e fertilizante: Efeitos sobre a Química do solo e plantas de trigo**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) –Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

COSTA, M. B. B. **Adubação Orgânica: nova síntese e novo caminho para a agricultura**. São Paulo: Ícone, 1994.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 257-261, 1993.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura de feijoeiro e do girassol. **Sanare**, Curitiba, v. 8, p. 33-37, 1997.

DIAS, M. C. de O.; PEREIRA, M. C. B.; DIAS, P. L. F.; VIRGÍLIO, J. F. **Manual de Impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.

DIONÍSIO, J.A.; RIOS, E.M.; MARTINS, K.F.; RESSETTI, R.R. Efeito do lodo de esgoto na densidade populacional de organismos do solo. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. (Coord.). **Reciclagem de biossólidos: Transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar, 1999. p.193–204.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas**. Brasília: Embrapa, 1995.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

FAGERIA, N. K. Nutrição mineral. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 173-196.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2303-2307, 2000.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. características agrônômicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 447-454, 2004.

FERNANDES, F.; LARA, A. I.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Normatização para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. (Coord.). **Reciclagem de biossólidos: Transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar, 1999. p.263-291.

FERRAZ, E.C.; Fisiologia da cultura do arroz. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DO ARROZ DE SEQUEIRO. FERREIRA, M. E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 1983. p. 77 - 90.

HILDEBRAND, C. **Manual de análises químicas de solos e plantas**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1977.

ILHENFELD, R. G. K.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V. Fatores limitantes. In: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. p.46-63.

JAHNEL, M. C.; BONNET, B. R. P. Atividade de microrganismos avaliada pela liberação de CO₂. In: ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. (Ed.). **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: Sanepar, 1998. p. 69-71.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Ceres, 1985.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 3. ed. Piracicaba: Degaspari, 1999.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004.

LIMA, M.G.S.; LOPES, N.F.; MORAES, D.M.; ABREU, C.M. Qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas a estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**. V.27, n.1, p. 54- 61, 2005.

LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002.

MAAS, E.V. **Crop tolerance to saline sprinkling water**. *Plant Soil*, 89: 273 – 284, 1985.

MACCARI, L.D.B.R. **Colonização de gramíneas por *Herbaspirillum seropedicae* e expressão de genes *nif* “in planta”**. Curitiba, 2003. 93 f. Tese (Doutorado em Ciências- Bioquímica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

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

MALAVOLTA, E.; FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DO ARROZ DE SEQUEIRO. FERREIRA, M. E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 1983. p. 95 -.140.

MELLO, F.A.F. et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. p. 139 - 177.

MELO, W. J.; MARQUES, O. M. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2000. p.109-141.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P.; O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. x – 468 p.

MELO, P. C. S., ANUNCIACAO FILHO, C. J , OLIVEIRA F. J, *et al.* Seleção de genótipos de arroz tolerantes à salinidade durante a fase vegetativa. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.58-64, 2006.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Gênese, 2000.

MORAES, I.V.M. **Mármore e granito: lavra, beneficiamento e tratamento de resíduos** (Dossiê técnico). Disponível em: <[http://sbrt.ibict.br/upload/dossies/sbrt -dossie21.pdf? PHPSESSID=c36b0b48c2072d6f587e53aeb77ded6c](http://sbrt.ibict.br/upload/dossies/sbrt-dossie21.pdf?PHPSESSID=c36b0b48c2072d6f587e53aeb77ded6c)>Arquivo acessado em 2007.

MOREIRA, F. M. S. Métodos de isolamento e identificação de microrganismos associativos fixadores de N₂. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa, 1994. p. 337-353.

MOREIRA, A.; JÚLIO CEZAR FRANCHINI, J. C.; MORAES, L. A. C.; MALAVOLTA, E. Disponibilidade de nutrientes em vertissolo calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.2107-2113, 2000.

NICOLI, J. R. Fixação e assimilação biológicas de nitrogênio. In: VIEIRA, E. C.; GAZZINELLI, G.; MARES-GUIA, M. **Bioquímica celular e biologia molecular**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1991. p. 235-241.

OLIVEIRA, F.C.; MATIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R. & ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 505-519, 2002.

PAGLIA, E. C. **Lodo de esgoto alcalinizado associado a doses de potássio, na lixiviação iônica**. Curitiba, 2004. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PAVAN, M.A .; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. IAPAR, cir.n.76, nov, 1992.

PELCZAR, J. M. et al. **Microbiologia**: Conceitos e aplicações. São Paulo: MAKRON Books, v.1. 1996.

PELCZAR, J. M.; REID, R.; CHAN, E. C. S. **Microbiologia**. 2. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, v.2. 1981.

PEREIRA, E.R. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola**. Piracicaba, 2006. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

PIMENTEL, J.P.; OLIVARES, F.; PITARD, R. M.; URQUIAGA, S.; AKIBA, F.; DÖBEREINER, J. Dinitrogen fixation and infection of grass leaves by *Pseudomonas rubrisubalbicans* and *Herbaspirillum seropedicae*. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 137, p. 61 - 65, 1991.

PINHEIRO, B.S. Características morfológicas da planta relacionadas à produtividade. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E. P. (Eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 116 – 147.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação, 1996. (Boletim Técnico, 100).

RODRIGUES, L.S.; BALDANI, V.L.D.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. Diversidade de bactérias diazotróficas endofíticas dos gêneros *Herbaspirillum* e *Burkholderia* na cultura do arroz inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, V.41, n.2, p. 275 – 284, 2006.

SANEPAR. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1997. 96 p.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEIXE, C.A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p. 1 - 8, 1998.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEIXE, C.A.; BERNARDES, E.M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p. 831- 840, 2001.

SIMONETE, M. A. ; KIEH, J. C. ; ANDRADE, C. A. ; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p. 1187-1195, 2003.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988.

SIQUEIRA, J. O. Microrganismos do solo e seus processos irrelevantes para a produtividade agrícola. In: **A responsabilidade social da ciência do solo**. MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R.; FREITAS, S.S. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1988. p. 337 - 352.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

STEINMETZ, S.; MEIRELES, E.J.L. Clima. In: VIEIRA, N.R.A.; SANTOS, A.B.; SANT'ANA, E.P. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa, 1999.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: Black, C.A., ed. **Methods of Soil Analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.2, cap.113, p. 1551 – 1572.

SUTCLIFFE, J. F.; BAKER, D.A. **As plantas e os sais minerais**. São Paulo: EPU, 1989.

TAMANINI, C.R. **Recuperação de áreas degradadas com a utilização de biossólido e gramínea forrageira**. Curitiba, 2004. 181 p. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; WOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. p. 73 - 76. (Boletim Técnico, 5).

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2000.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamentos de esgotos. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001. p. 89 - 131.

VICTÓRIA, R.L.; COLAÇO, W.; MAGALHÃES, A.M.T. Mineralização e volatilização de nitrogênio do solo. In: **A responsabilidade social da ciência do solo**. MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R.; FREITAS, S.S. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1988. p. 379 - 387.

VIEIRA, R. F. **Lodo de esgoto na agricultura: estudo de Caso**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. Disponível em: www.cnpma.embrapa.br/download/boletim_20.pdf. Arquivo acessado em 2005.

VIEIRA, R.F.; TANAKA, R.T.; TSAI, S.M.; PÉREZ, D.V.; SILVA, C.M.M.S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p.919-926, 2005.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004.

WREGE, M.S.; CARAMORI, P.H.; GONÇALVES, S.L.; COLASANTE, L.O.; FUKOSHIMA, M.T.; ABUD, N.S. Determinação das melhores épocas de semeadura do arroz de sequeiro, *oriza sativa*, no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, p. 1179 -1183, 2001.

ANEXOS

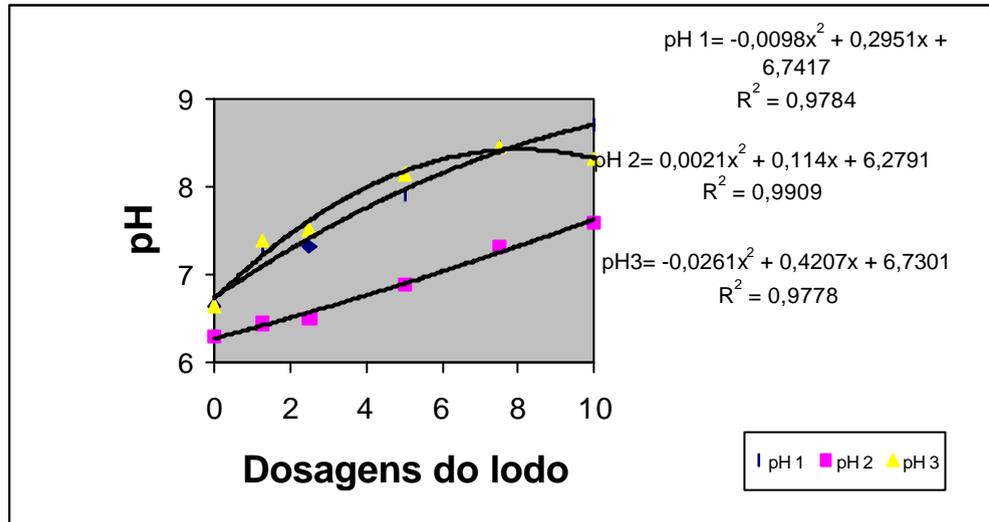
ANEXO 1 - MEIO DE CULTURA JNFB (*Herbaspirillum spp.*) -
Döbereiner et al. (1995).

O meio JNFB apresenta a seguinte composição por litro:

REAGENTES	CONC/L	VOL/L
Ácido málico	5,0 g	-
K ₂ HPO ₄	0,6 g	-
KH ₂ PO ₄	1,8 g	-
MgSO ₄ . 7 H ₂ O	0,2 g	-
NaCl	0,1 g	-
CaCl ₂ . 2H ₂ O	0,02 g	-
Solução de microelementos	-	10 mL
Fe EDTA	-	4 mL
Solução de vitamonas - Biotina	-	1 mL
KOH	4,5 g	-
Ágar	15,0 g	-
Água Destilada	1000 mL	-

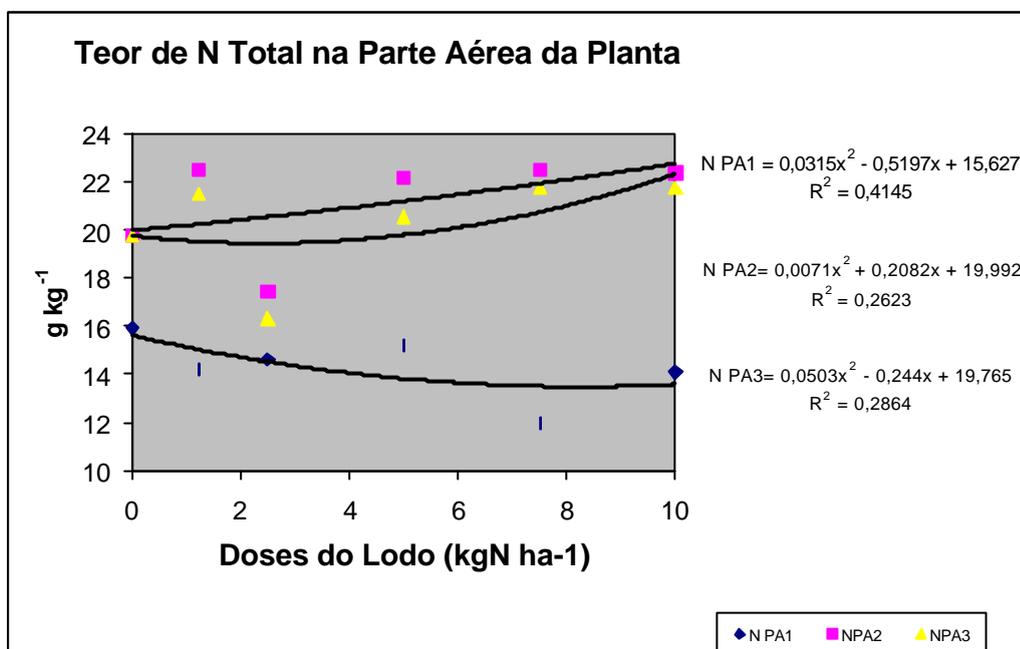
O pH deve ser ajustado para 5,8 com KOH, antes da adição do ágar.

ANEXO 2: FIGURA 1 - EFEITOS DAS DOSAGENS DO LODO
SOBRE O pH NOS TRÊS EXPERIMENTOS



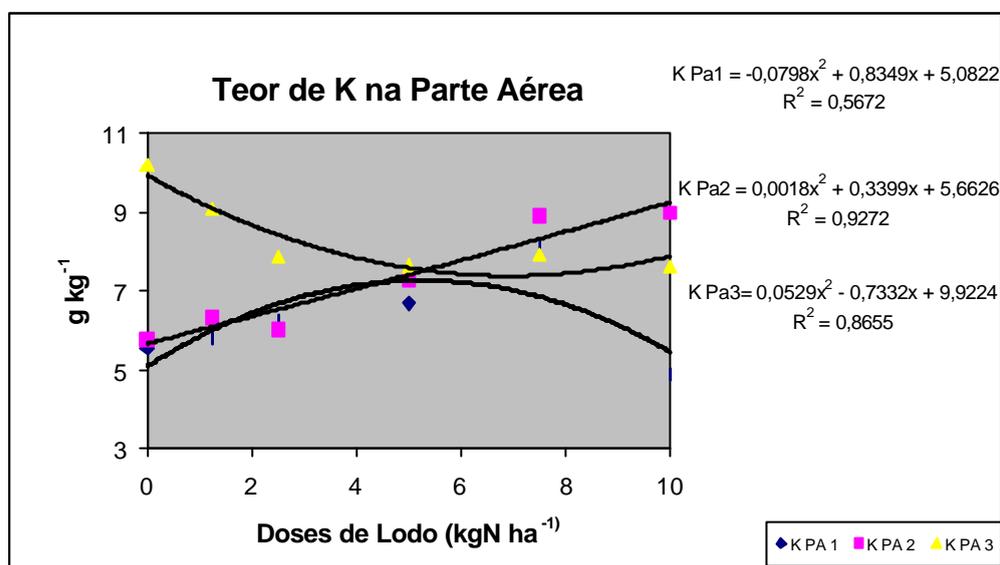
A figura 1 apresenta as curvas representativas e os valores de R^2 encontrados para os três experimentos indicando um bom ajuste.

ANEXO 3: FIGURA 2 – TEOR DE N TOTAL NA PARTE DA AÉREA DA PLANTA NOS TRÊS EXPERIMENTOS



Conforme a figura 2, observa-se que os teores de N não sofreram elevações significativas com a aplicação do lodo, o que é evidenciado pelos valores dos coeficientes de correlação de determinação das regressões (R^2) para os três experimentos.

ANEXO 4: FIGURA 3 – TEOR DE POTÁSSIO NA PARTE AÉREA DA PLANTA NOS TRÊS EXPERIMENTOS



Conforme a figura 3, observa-se que no experimento 1 o coeficiente de determinação linear entre o teor de potássio e as dosagens de lodo foi de $R^2 = 0,5672$ e para o experimento 2 o coeficiente de determinação linear entre o teor de potássio e as dosagens de lodo foi de $R^2 = 0,9272$, demonstrando dessa maneira não haver uma boa correlação entre estes dois parâmetros para o 1º experimento.

ANEXO 5: TABELA 16 - DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA E RAIZ DA PLANTA (MÉDIA DE QUATRO REPETIÇÕES) NOS TRÊS EXPERIMENTOS

TRATAMENTO	1º EXPERIMENTO		2º EXPERIMENTO		3º EXPERIMENTO	
	PA	RAIZ	PA	RAIZ	PA	RAIZ
T1	2.460 ^{ns}	1.268 abc	3.334 a	1.342 ^{ns}	1.767 ^{ns}	0.741 ^{ns}
T2	2.452	1.290 ab	3.507 a	1.563	1.689	0.745
T3	2.790	1.370 a	2.905 ab	1.512	1.780	0.783
T4	2.635	1.127 bc	2.951 ab	1.143	1.608	0.873
T5	2.375	1.030 c	2.243 ab	0.702	1.630	0.783
T6	2.543	1.240 abc	1.776 b	0.576	1.725	0.778

ANEXO 6: QUADRO 2 - DADOS PARA O CÁLCULO DO BALANÇO DE NITROGÊNIO

ENTRADA DE N	(g kg ⁻¹)
Lodo	5,1
Areia	0,60
Solo	1,57
Água	0,1153
Casca e Grão	16,44