

AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE NITRATO EM POÇOS DE MONITORAMENTO DISPOSTOS EM ÁREA DE REÚSO AGRÍCOLA.

Paulo Henrique Bellingieri¹ & Bruno Coraucci Filho²

Resumo - A pesquisa é baseada na avaliação de amostras de água subterrânea, pela irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto, em área experimental situada ao lado da Estação de Tratamento de Esgotos Graminha, operada pela empresa Águas de Limeira S.A., na cidade de Limeira.

O objetivo deste trabalho é verificar a possível presença de nitrato em poços de monitoramento, compara-los e discutí-los em relação ao regimento da Portaria 518 do Ministério da Saúde.

A coleta da água subterrânea foi realizada, nos meses de nov/dez de 2003, e jan/fev de 2004 (período chuvoso), durante o ciclo da cultura, em seus diferentes estágios (inicial, desenvolvimento, intermediário e final), de acordo com a irrigação. O esgotamento e a coleta foram realizados com o auxílio de uma bomba centrífuga modificada (com dispositivo de segurança contra a entrada de ar).

As taxas hidráulicas determinadas são aplicadas na cultura do milho e de acordo com os tratamentos correspondentes a três lâminas hídricas de aplicação para efluente de lagoa anaeróbica, efluente desinfetado e fertilização mineral.

Os valores encontrados para nitrato excederam o limite permitido pela Portaria 518/MS, de 10 mg/L, nos poços 8 e 9. Estes resultados foram encontrados durante o período intermediário de desenvolvimento da planta.

Os maiores valores encontrados para nitrato conferem com os poços dispostos nas situações mais críticas, recebendo maiores quantidades de efluente sem desinfecção.

Abstract - The research is based on the evaluation of underground water samples, for the irrigation with effluent treatment station of Sewer, in situated experimental area to the side of the Treatment Station of Graminha Sewers, operated for the company Águas de Limeira s.a., in the city of Limeira.

¹ Engenheiro Civil, Mestrando em Saneamento e Ambiente pela Unicamp – Campinas, SP, na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Saneamento e Ambiente.

² Professor Titular do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp – Campinas, SP.

The objective of this work is to verify the possible nitrate presence in monitoring wells, compares them and to argue them in relation to the regiment of rule 518 of the Health department. The collection of the underground water was carried through, in the months of nov/dec of 2003, and jan/feb of 2004 (rainy period), during the cycle of the culture, in its different periods of training (initial, development, intermediary and end), in accordance with the irrigation. The exhaustion and the collection had been carried through with the aid of a bomb modified centrifugal machine (with device of security against the air inlet). The determined hydraulical taxes are applied in the culture of the maize and in accordance with the corresponding treatments the three hídrics blades of application for anaerobic effluent, effluent lagoon disinfected and mineral fertilization. The values found for nitrate had exceeded the limit allowed for rule 518/MS, of 10 mg/L, in wells 8 and 9. These results had been found during the intermediate period of development of the plant. The biggest values found for nitrate confer with the wells made use in the situations most critical, receiving bigger amounts from effluent without disinfection.

Palavras-Chave – esgoto; nitrato e subterrânea.

INTRODUÇÃO

O planeta vive um dilema, com 99,4% de suas reservas hídricas não acessíveis ao consumo humano. Desses 0,6%, 97,5% correspondem às águas subterrâneas (CETESB, 2004).

Agências como a Organização Mundial de Saúde e suas credenciadas, entre outras, têm acompanhado o elevado crescimento populacional ocorrido na última década, e prevêem que em torno de 2025 a população mundial estimada de 8.9 milhões será a máxima que o suprimento de água na terra pode suportar (WHITE, 1999).

A demanda de água para o setor agrícola brasileiro, segundo Hespanhol citado por MANCUSO & SANTOS (2003), representa atualmente, 70% do uso consumptivo total, com forte tendência para chegar a 80% até o final desta década. Portanto, ante o significado que essas grandes vazões assumem, em termos de gestão de nossos recursos hídricos, é de extrema importância que se atribuam prioridades para institucionalizar, promover e regulamentar o reúso para fins agrícolas, em âmbito nacional.

Deve-se considerar que a irrigação com efluentes de ETE's tem em alguns casos, grande potencial quanto ao fornecimento de nutrientes para solo e plantas além de suprir a necessidade de água para a agricultura. Contudo, são necessários o manejo adequado e a monitoração constante do sistema para minimizar e se possível eliminar os efeitos de contaminação do solo e do aquífero.

A monitoração de águas subterrâneas é freqüentemente requerida em áreas de reúso agrícola, sendo sua complexidade dependente das características do esgoto e da hidrogeologia do terreno (USEPA, 1992).

As águas subterrâneas constituem a maior reserva estratégica de água doce do planeta, sendo que no Brasil as reservas chegam a atingir uma disponibilidade hídrica de 5.000m^3 / habitante / ano. A importância das águas subterrâneas ainda não é totalmente reconhecida, embora este recurso seja disponível em quantidade, qualidade e com baixo custo de exploração (CETESB, 2001).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A depuração de águas residuárias por lagoas de estabilização constitui tecnologia consolidada para tratamento de esgotos sanitários e ampla gama de efluentes industriais, pelas suas vantagens de baixo custo e eficiência satisfatória, associadas à simplicidade construtiva e facilidade operacional. As lagoas anaeróbias são reconhecidas atualmente como excelente opção para remoção de poluentes orgânicos, porém devem ser consideradas como etapa inicial do tratamento, pois, como qualquer outro reator anaeróbio, produzem efluentes com ausência de oxigênio dissolvido e concentrações indesejáveis de amônia e sulfetos, fazendo-se necessária uma etapa posterior de tratamento (PROSAB, 1999).

Desinfecção de Esgotos Sanitários

Do ponto de vista de saúde pública, o processo de desinfecção é o estágio mais importante do tratamento de esgoto (WHITE, 1999). Especial atenção deve ser dada aos efluentes de ETEs destinados ao reúso em atividades como irrigação. Com a crescente escassez de recursos hídricos, a reutilização de efluentes de ETEs tem se tornado uma alternativa atrativa para a irrigação. Entretanto, a operação segura de sistemas de água de reúso depende da confiabilidade da desinfecção do esgoto (XU et al., 2002).

A seleção da forma mais apropriada de desinfecção deve levar em conta duas questões cruciais: a obtenção de um efluente livre de patógenos; evitar-se a produção de subprodutos da desinfecção, tais como compostos orgânicos halogenados, residuais de produtos químicos danosos à saúde. (USEPA, 1999).

A dosagem de cloro é relacionada com o ponto de aplicação, sendo mais elevada em processo de pré-cloração do esgoto bruto (na ordem de $6-25\text{ mgL}^{-1}$) e mais moderada em esgotos tratados, como por exemplo na saída de filtros biológicos ($3\text{ a }15\text{ mgL}^{-1}$) (CHERNICHARO, 2001).

O cloro pode ser utilizado tanto na forma gasosa, quanto na forma de hipoclorito de cálcio ou hipoclorito de sódio. Estes últimos são mais vantajosos para uso em menor escala, pois têm um

custo menor que o primeiro, além de serem mais fáceis de manusear e envolverem menores riscos de operação comparados ao cloro gasoso.

O impacto de cloro livre ou combinado em corpos d'água resultante da desinfecção de efluentes, tem sido controlado por padrões ambientais como é o caso da Resolução Conama 20, que estabelece um padrão de $0,020\text{mgL}^{-1}$ de cloro livre ou combinado para proteção da vida aquática.

Portanto, tem-se praticado a descloração com compostos químicos, sendo os principais: dióxido de enxofre, sulfito de sódio, bissulfito de sódio, metabissulfito de sódio e tiosulfato de sódio, dentre outros (PROSAB, 2003).

Reúso Agrícola e Atenuação Natural de Contaminantes

O reúso de efluentes no solo, conforme CORAUCCI FILHO et. al. (1998), não pode ser encarado como um mero descarte. Deve existir um elo perfeito entre os objetivos e critérios da Engenharia Sanitária e os da Engenharia de Irrigação, de forma que o esgoto seja tratado no solo sem qualquer possibilidade de contaminação do lençol freático, entre outros.

A aplicação de esgoto sanitário sobre a superfície do solo, como processo de tratamento, possibilita a remoção dos poluentes por meio dos seguintes mecanismos: 1) físicos: sedimentação, filtração, radiação, volatilização e desidratação; 2) químicos: por meio de reações de oxi-redução, precipitação, adsorção e troca iônica; 3) biológicos: absorção, biodegradação e predação. A aplicação de água residuária provoca rápida troca dos parâmetros do solo, melhorando suas características físicas e sua fertilidade.

O solo participa ativamente da atenuação de muitos, mas não todos, contaminantes da água subterrânea. Este processo de atenuação continua em menor grau na zona não-saturada, especialmente onde sedimentos não consolidados, em oposição a rochas fraturadas (pouco reativas), estão presentes. Tanto o solo como a zona não-saturada são a primeira linha de defesa natural contra a poluição da água subterrânea. Isto se dá não somente pela sua posição estratégica, mas também pelo ambiente mais favorável à atenuação e eliminação de poluentes e pela presença de grande quantidade de microrganismos (TEIXEIRA et al., 2001).

Dependendo da disponibilidade de área, a disposição no solo dos efluentes de lagoas anaeróbias precedidas de desinfecção é uma opção adequada à realidade de grande parte do território brasileiro (PAGANINI, 1997).

Aspectos Hidrogeológicos

O nível do lençol freático de uma determinada região acompanha as irregularidades do terreno, o que pode ser visualizado pelo traçado de sua superfície através de uma rede de poços. Sua profundidade é função da quantidade de recarga e dos materiais terrestres do subsolo. Em áreas

úmidas, com alta pluviosidade, tende a ser mais raso, enquanto em ambientes áridos tende a ser profundo. De modo geral, é mais profundo nas cristas de divisores topográficos (nos interflúvios) e mais raso nos fundos de vales.

A precipitação é fator decisivo em estudos hidrogeológicos, configurando as variações ou oscilações do nível estático de um aquífero livre, além de interferir na concentração dos parâmetros que vierem a ser analisados.

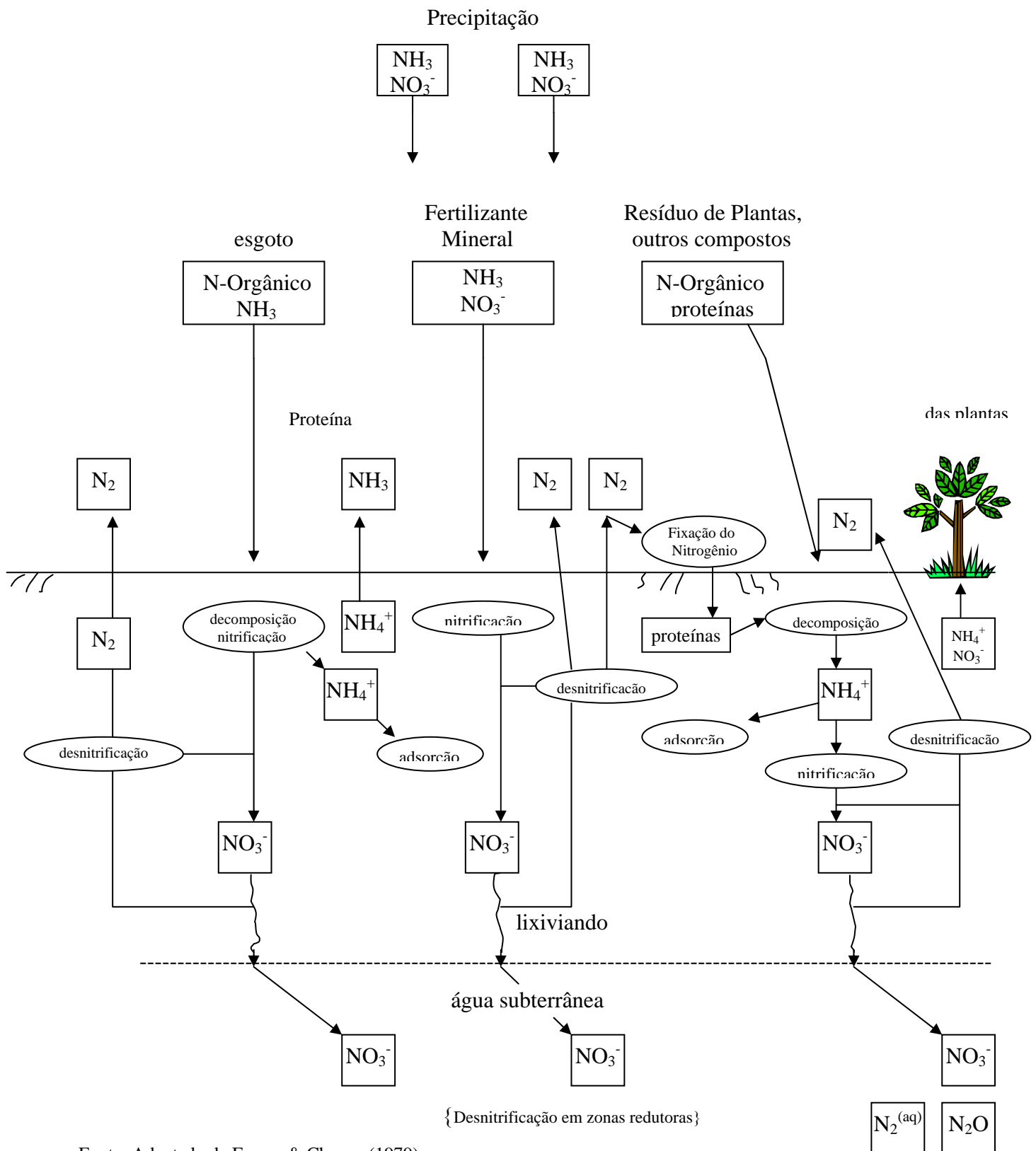
Além da força gravitacional, o movimento da água subterrânea também é guiado pela diferença de pressão entre dois pontos, exercida pela coluna de água sobrejacente aos pontos e pelas rochas adjacentes. Esta diferença de pressão é chamada de potencial da água (potencial hidráulico) e promove o movimento da água subterrânea de pontos com alto potencial, como nas cristas do nível freático, para zonas de baixo potencial, como em fundos de vales.

Comportamento Hidroquímico do Nitrogênio em Subsuperfície

O nitrogênio dissolvido na forma de íon nitrato (NO_3^-) é o indicador de contaminação mais comum encontrado na água subterrânea. A sua presença tem sido crescente em vários sistemas aquíferos no mundo, poluindo-os. Isto é consequência das atividades agrícolas e do lançamento indiscriminado de esgotos sobre e abaixo da superfície do solo. Além da forma iônica de nitrato, que é a principal, o nitrogênio também ocorre na forma de amônio (NH_4^+), amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-), nitrogênio gasoso (N_2), óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio orgânico (N), ou seja, aquele existente nas substâncias orgânicas (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997).

Devido a sua forma aniônica, o NO_3^- move-se na água subterrânea praticamente sem retardamento, motivo pelo qual pode ser considerado como a forma estável do nitrogênio dissolvido. Isto acontece principalmente em ambientes fortemente oxidantes, como é o caso das águas subterrâneas muito pouco profundas, em sedimentos de alta permeabilidade ou em rochas fraturadas, que possuem altos teores de oxigênio gasoso (O_2) dissolvido (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997).

Podem ocorrer duas enfermidades relacionadas a ingestão de água com concentrações elevadas de nitrato, segundo LEWIS et al., 1988: a metahemoglobinemia e o câncer. A metahemoglobinemia (cianose infantil ou síndrome do bebê azul) é uma doença que afeta principalmente os bebês menores de 3 meses e é causada pela ingestão de quantidades elevadas de nitrato (NO_3^-). Sua toxicidade é oriunda de sua redução a nitrito (NO_2^-), processo que pode ocorrer sobre condições específicas no estômago e na saliva. O íon de nitrito que se forma oxida o ferro nas moléculas da hemoglobina, transformando-o de ferroso (Fe^{+2}) em férrico (Fe^{+3}). A metahemoglobina produzida a partir daí torna o sangue incapaz de fixar de maneira reversível o oxigênio, o que resulta em uma anoxia e a morte, se esta situação não for corrigida a tempo.



Fonte: Adaptado de Freeze & Cherry, (1979).

ESQUEMA 1 - Origem e comportamento do nitrogênio em subsuperfície

Quanto ao câncer, o nitrito, e indiretamente o nitrato, podem reagir com aminas e amidas para formar nitrosaminas e nitrosamidas. Estudos têm comprovado que estes compostos são cancerígenos

em um grande número de espécies animais e muitos deles têm sido considerados mutagênicos. Estas pesquisas demonstram que a freqüente ingestão destes compostos pode ocasionar o surgimento de câncer gástrico, em seres humanos (Fraser et al. citado por FERREIRA, 1999).

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do Local.

A pesquisa está sendo desenvolvida desde janeiro de 2001, onde iniciou-se a irrigação com efluente da estação de tratamento de esgoto, em área experimental situada ao lado da Estação de Tratamento de Esgotos Graminha, operada pela empresa Águas de Limeira S.A., na cidade de Limeira (latitude 22° 35' 29,63", longitude 47° 26' 17,04", altitude 567m).

Um levantamento topográfico da área experimental foi realizado com equipamento GPS (vide em Anexo 1), identificando todas as singularidades existentes na área, bem como o nível d'água dos córregos e rios adjacentes à área de plantio, e a determinação do fluxo da água subterrânea foi feita de acordo com estudo do potencial hidráulico dos poços perfurados.

Hidrogeologia Regional.

A região situa-se na Bacia do Piracicaba, sub-bacia do Graminha, no sistema Aquífero Tubarão (Grupo Itararé). As intercalações e interdigitações de litologias diferentes fazem com que este sistema apresente um comportamento de aquífero livre a localmente semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e fortemente anisotrópico. Sua constituição litológica imprime uma porosidade granular, que controla a circulação da água subterrânea (IG, 1995).



Figura 1 - foto da área experimental

O estudo realizado pelo DAEE (1982) em 272 poços mostrou que a transmissividade neste sistema varia entre 1 a 40m²/dia e a capacidade específica entre 0,002 e 7,5m³/h m. Neste aquífero predominam águas bicarbonatadas sódicas, seguidas de bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas magnesianas, cloretadas sódicas e sulfatadas sódicas.

Caracterização do Solo Estudado

Na área experimental foram realizadas análises químicas das características de fertilização do solo a ser utilizado, Argissolo Vermelho Amarelo – textura média, de acordo com a classificação da EMBRAPA (1998) realizadas na profundidade de 20cm (Tabela 2). As análises físicas do solo nas profundidades de irrigação 20, 40 e 60cm se encontram na Tabela 3, e a curva granulométrica do solo é apresentada no Anexo 3.

Tabela 1 – Resultados de análise química de rotina do solo a ser utilizado.

Profundidade (m)	pH CaCl ₂ 0,01mgL ⁻¹	M.O. g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						V ⁽³⁾ %
				K	Ca	Mg	H+Al	SB ⁽¹⁾	T ⁽²⁾	
0,20	4,6 ^(*)	13	8	1,7	17	5	38	23,7	61,7	38

(*) análise realizada no Laboratório de Análises de Solos e Plantas do Departamento de Solos e Adubos da FCAV

– Unesp – Jaboticabal.

⁽¹⁾Soma de Bases, ⁽²⁾Capacidade de Troca Catiônica, ⁽³⁾ saturação por bases.

Tabela 2 – Resultados de análises físicas do solo a ser utilizado nas profundidades de irrigação (20, 40 e 60cm).

Prof. (m)	C.C. ⁽¹⁾ (%)	U.C. ⁽²⁾ (%)	P.M. ⁽³⁾ (%)	D g ⁽⁴⁾ g cm ⁻³	Dr ⁽⁵⁾ g cm ⁻³	P ⁽⁶⁾ %	AD ⁽⁷⁾ (mm)	Hi ⁽⁸⁾ (mm)
0,20	12,2 ^(*)	8,3	4,8	1,68	2,60	35,4	25,6	14,8
0,40	12,2	8,0	4,8	1,72	2,63	34,6	51,1	28,8
0,60	12,2	7,8	4,8	1,72	2,62	34,4	76,3	45,4

(*) análise realizada no IAC (Instituto Agronômico de Campinas).

⁽¹⁾Capacidade de Campo, ⁽²⁾ Umidade Crítica, ⁽³⁾ Potencial Matricial, ⁽⁴⁾ Densidade Global, ⁽⁵⁾ Densidade Aparente, ⁽⁶⁾ Porosidade, ⁽⁷⁾ Água Disponível, ⁽⁸⁾ Lâmina Hídrica.

Caracterização dos Efluentes Desinfetado e não Desinfetado.

Os dados das análises químicas do efluente de lagoa anaeróbia a ser utilizado, encontram-se nas Tabelas 4 e 5, e são resultantes de amostragem composta realizada na ETE-graminha da Companhia de Águas de Limeira, SP.

Tabela 3 – Características químicas do efluente não desinfetado de lagoa anaeróbica a ser utilizado.

Variáveis ^(*)	Lagoa anaeróbica (Média)
N _{total} (mg L ⁻¹)	42,2
N-NH ₃ (mg L ⁻¹)	31,7
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,3
N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,05

(*) análise realizada no Laboratório de Análises FísicoQuímicas do Departamento de Tecnologia da FCAV – Unesp – Jaboticabal.

Tabela 4 – Características químicas do efluente desinfetado de lagoa anaeróbica a ser utilizado.

Variáveis ^(*)	Lagoa anaeróbica (Média)
N _{total} (mg L ⁻¹)	37,5
N-NH ₃ (mg L ⁻¹)	32,5
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,25
N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,05

(*) análise realizada no Laboratório de Análises FísicoQuímicas do Departamento de Tecnologia da FCAV – Unesp – Jaboticabal.

A lagoa anaeróbica em questão tem trabalhado com aproximadamente 50% de remoção de DBO, não atendendo ao padrão de lançamento exigido para o estado de São Paulo, que requer um mínimo de 80% de remoção na demanda bioquímica de oxigênio, adotando o critério da eficiência (SPERLING & NASCIMENTO, 1999).

Metodologia de Campo.

A cultura implantada foi o milho, variedade AG-405, AGROCERES-híbrido, de ciclo precoce (SILVA et al., 2001). A escolha da cultura se deve à possibilidade de plantio em duas safras/ano, época de seca e de chuvas; grãos não terem contato com o efluente e sua utilização como ração animal.



Figura 2- foto da lagoa anaeróbica da E.T.E. Graminha.

O terreno foi preparado para o plantio com aração e gradagem mecanizada do solo. O terreno, com dimensões aproximadas de 60 x 160m, possui um declive na direção do maior comprimento, em córrego margeando pelo lado direito a cerca com a Estação de Tratamento e um riacho no limite inferior do terreno, que recebe as águas provenientes do córrego. O solo foi corrigido para 70% de saturação por bases, através do uso de corretivo agrícola, segundo recomendação de RAIJ et al. (1996).

A captação do efluente da lagoa para a aplicação no solo é feita por tubulação de 2", que escoam até os 3 tanques de aplicação (cada um com capacidade para 2000L) por força da gravidade. Um dos tanques armazena o esgoto não desinfetado, e os outros dois armazenam o desinfetado pelo sistema de vasos comunicantes, para viabilizar o tempo de detenção hidráulico (período de contato) que a desinfecção exige.

O composto escolhido para a cloração do efluente da lagoa anaeróbia foi o hipoclorito de sódio (NaClO), e o bissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) foi utilizado para a descloração, por razões econômicas. Os cálculos da quantidade de cada composto que irá reagir com o efluente sanitário, realizados no Laboratório de Saneamento da FEC – Unicamp, seguem orientação de publicação do PROSAB (2003) para esgotos desinfetados.



Figura 3 - foto dos tanques de armazenamento e distribuição do efluente.

Estes cálculos são feitos com base nos valores de Coliformes Totais e Coliformes Fecais encontrados na amostra, em cartelas Colilert®, para as diluições propostas, de maneira a reduzir a concentração destes indicadores de 10^6 para 10^3 NMP/100ml. Foram obtidos valores de 320ml de hipoclorito de sódio (concentração de 16mgL^{-1}) para um volume de 2000L do tanque, e de 960ml de bissulfito de sódio (relação 3:1 com o hipoclorito) para o mesmo volume nos tanques.

No campo eram respeitados 30 minutos de período de contato para o hipoclorito de sódio nos tanques, e 5 minutos para o bissulfito de sódio, conforme ainda recomendação do PROSAB (2003).

O plantio do milho foi realizado após divisão do terraço em parcelas, cada uma contendo os tratamentos: irrigação com água em solo enriquecido com fertilização mineral, efluente e efluente desinfetado, todos com três profundidades de irrigação – 20, 40 e 60cm, com três repetições, totalizando 27 parcelas. Os tratamentos com adubação mineral e efluente de lagoa anaeróbia, já estão instalados há três anos, com cinco safras. A adubação mineral conteve: 20 Kg/ha de N, na forma de sulfato de amônia, 70 Kg/ha de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 50 Kg/ha de K₂O na forma de cloreto de potássio, como também uma adubação de cobertura aos 30 dias após semeadura com 20 Kg/ha de N, segundo recomendação de RAIJ et al. (1996).

O sistema de plantio implantado possui: cinco linhas de plantio e quatro sulcos intermediários, com 4,0m de comprimento e 5,0m de bordadura em cada extremidade. A distância entre cada linha de cultivo é de 1,0m e entre plantas, de 20cm, totalizando 20 por linha.

É utilizado o sistema de irrigação por sulcos rasos de forma a evitar a liberação de aerossóis no ar quando da utilização de aspersores para irrigação com água de lagoa de estabilização. A irrigação é realizada com efluente de lagoa anaeróbia desinfetado e não desinfetado (concentração final no desinfetado – 0,396 mgL⁻¹ de cloro livre).

Foram aplicadas lâminas hídricas (Hi) diferenciadas de irrigação, correspondentes às profundidades de irrigação de 0,20; 0,40 e 0,60m. A profundidade de irrigação corresponde ao perfil do solo que se deseja irrigar. Tais valores foram admitidos para o cultivo do milho, cuja profundidade de irrigação é de 0,40m, perfil onde está localizado 80% do sistema radicular da planta (VIEIRA, 1999). O volume de 120 L corresponde à lâmina hídrica de 28,8mm e um perfil de irrigação do solo de 0,40m. A partir desse valor foi escolhida a profundidade mais conservadora 0,20m e outra menos 0,60m.

As lâminas de aplicação foram calculadas para as profundidades de irrigação, segundo a equação (A). Para o cálculo do volume a ser aplicado por sulco, será utilizada a equação (B).

$$Hi = \frac{CC - UC}{10} * Dg * h \quad (A)$$

onde:

Hi= lâmina hídrica líquida (mm)

CC= capacidade de campo do solo (%)

UC= umidade crítica do solo (%)

Dg= densidade global do solo (gcm⁻³)

h= profundidade de irrigação (cm)

$$V = 1,05 * Ai * Hi \quad (B)$$

onde:

A_i = área de influência do sulco (m^2)

V = volume a ser aplicado no sulco (L)

A frequência de aplicação se faz de acordo com a dotação de rega a ser calculada para as condições do local. O manejo da irrigação foi baseado na água necessária, para umidade do solo entre a capacidade de campo (CC), acima da qual o líquido lixivia para o lençol freático e com a umidade crítica (UC), referente ao potencial matricial crítico da planta, abaixo do qual a planta teria que realizar esforços que podem comprometer seu metabolismo.

A safra se estendeu por 4 meses (ciclo da cultura) entre 12/11/2003 a 15/03/2004.

Rede de Poços de Monitoramento.

A referida rede conta com 10 (dez) poços de monitoramento, para coleta da água subterrânea a ser avaliada em função do risco à saúde pública.

A disposição dos diferentes pontos é baseada na elaboração de projeto de rede de monitoramento, conforme norma ABNT NBR 13.895 (1997), e é composta de postos de monitoração, locados de acordo com o sentido do fluxo do aquífero freático e as diferentes lâminas hídricas, de maneira a avaliar os pontos mais críticos.



Figuras 4 - Perfuração, Instalação (esq.) e Disposição dos Poços de Monitoramento (dir.).

A perfuração dos poços foi realizada com a utilização de trado manual de 4", e tripé de sondagem. O metro final da tubulação de PVC, apresenta ranhuras de aproximadamente 2mm ao longo de seu perímetro (filtro), revestido por uma tela de nylon, segundo ABNT NBR 13.895 (1997). A camada de pré-filtro que circunscreve o filtro é constituída de brita, ocupando uma área de espessura 50cm. A selagem do filtro foi feita com bentonita e o vão conseqüente entre o tubo e a

área perfurada foi preenchido com areia e solo removido do próprio local. Uma caixa de cimento e tijolos foi construída em volta de cada poço, de maneira a evitar a infiltração superficial.

A coleta da água subterrânea foi realizada periodicamente, nos meses de nov/dez de 2003, e jan/fev de 2004 (período chuvoso), constando de uma amostragem antes da sementeira e uma após a colheita dos grãos, de acordo com a norma ABNT NBR 13.895 (1997), e cinco amostragens durante o ciclo da cultura, em seus diferentes estágios (inicial, desenvolvimento, intermediário e final), de acordo com a irrigação. Nessas amostragens, os poços foram esgotados totalmente dois dias antes das coletas para permitirem o tempo de recarga suficiente. O esgotamento e a coleta foram realizados com o auxílio de uma bomba centrífuga modificada (com dispositivo de segurança contra a entrada de ar).



Figura 5 - foto da cimentação dos poços.

O plano de amostragem prevê a medição do nível estático de cada poço, antes da operação de esgotamento.

A coleta, a preservação e manuseio das amostras de águas subterrâneas são inteiramente relacionadas com a norma NBR 13.895 da ABNT. O procedimento de coleta das amostras em três repetições dispõe de bailers (amostradores de água) com capacidade de 1,1L (figura 7), sendo um para cada poço monitorado. Estes são esterelizados com água sanitária a 10% e enxaguados com água destilada após cada uso.



Figura 6 - Bomba centrífuga modificada para esgotamento dos poços.



Figura 7 - Fotos do bailer (amostrador de água subterrânea utilizado no experimento).

A disposição das parcelas e redes de monitoramento são melhor visualizadas no Anexo 2.

Tabela 5 - Valores encontrados para o nitrato ao longo da safra.

DATA	valores de nitrato* (mg L ⁻¹) para os poços de monitoramento									
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆ **	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
20/12/2003	5,9	5,3	5,5	1,8	8,5	8,4	2,3	7,8	9	6,2
05/01/2004	6,7	7	4,4	8	8	1,8	3,2	6,1	8,7	5,2
12/01/2004	7,4	5,5	2,5	7,7	8,9	1,57	2,3	8,6	12,1	6,1
21/01/2004	7,1	7,1	5,3	8,1	7,1	3	5,3	11,2	10,8	5,5
03/02/2004	8,3	3,6	6,4	7,6	7,8	2,4	3,5	8,4	9,7	5,6
19/02/2004	7,4	6,6	6	7,4	7,5	5	3,4	7,2	9,1	5,4
12/3/2004	7,3	6,7	5,5	6,3	7,9	2,2	4,4	7,1	9,1	5,1

* média de três repetições

** poço testemunha

As datas especificadas na Tabela 6, se referem aos dias de coleta das amostras e foram escolhidas de acordo com o controle hídrico da safra, obedecendo os valores climatológicos verificados no local. As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam estes dados para as profundidades de irrigação de 20, 40 e 60cm, respectivamente.

Tabela 6 - Controle hídrico baseado em dados climatológicos, para prof. irrigação de 20cm.

Lâmina Hídrica: 14,8mm Prof. Irrigação: 200 mm Coef. do tanque Classe A (Kp): 0,70 Capac. de Campo: 42,67 Umid. Crítica: 27,89 mm							
Estágio	Período	Coef. Cultura (Kc)	Classe A (mm/per.)	Evapotransp. (mm/per.)	Precip. (mm/per.)	Precip.Efetiva (mm/per.)	Irrigação (mm/per.)
INICIAL	11/11/2003 a 7/12/2003	0,3 a 0,5	86,69	23,12	266,58	173,08	0
DESENVOLVIMENTO	08/12/2003 a 6/1/2004	0,5 a 0,95	114,69	64,8	158,94	106,57	14,8
INTERMEDIÁRIO	07/01/2004 a 31/1/2004	0,85 a 1,15	88,53	62,54	218,7	151,41	29,6
MATURAÇÃO	01/02/2004 a 4/3/2004	0,50 a 0,85	150,26	69,24	220,95	151,89	14,8

Tabela 7 - Controle hídrico baseado em dados climatológicos, para prof. irrigação de 40cm.

Lâmina Hídrica: 28,8mm Prof. Irrigação: 400 mm Coef. do tanque Classe A (Kp): 0,70 Capac. de Campo: 83,94 Umid. Crítica: 55,04 mm							
Estágio	Período	Coef. Cultura (Kc)	Classe A (mm/per.)	Evapotransp. (mm/per.)	Precip. (mm/per.)	Precip.Efetiva (mm/per.)	Irrigação (mm/per.)
INICIAL	11/11/2003 a 7/12/2003	0,3 a 0,5	86,69	23,12	266,58	173,08	0
DESENVOLVIMENTO	08/12/2003 a 6/1/2004	0,5 a 0,95	114,69	64,8	158,94	106,57	28,8
INTERMEDIÁRIO	07/01/2004 a 31/1/2004	0,85 a 1,15	88,53	62,54	218,7	151,41	28,8
MATURAÇÃO	01/02/2004 a 4/3/2004	0,50 a 0,85	150,26	69,24	220,95	151,89	28,8

RESULTADOS

Os valores encontrados para nitrato excederam o limite permitido pela Portaria 518/MS, de 10 mg/L, nos poços 8 e 9 (vide anexo 2). O poço 9 se apresentou contaminado em duas datas de coleta (12/01/2004 e 21/01/2004) e o poço 8 em apenas uma data (21/01/2004), conforme Tabela 6.

Tabela 8 - Controle hídrico baseado em dados climatológicos, para prof. irrigação de 60cm.

Lâmina Hídrica: 45,4mm Prof. Irrigação: 600 mm Coef. do tanque Classe A (Kp): 0,70 Capac. de Campo :125,90 Umid. Crítica: 80,50 mm							
Estágio	Período	Coef. Cultura (Kc)	Classe A (mm/per.)	Evapotransp. (mm/per.)	Precip. (mm/per.)	Precip.Efetiva (mm/per.)	Irrigação (mm/per.)
INICIAL	11/11/2003 a 7/12/2003	0,3 a 0,5	86,69	23,12	266,58	173,08	0
DESENVOLVIMENTO	08/12/2003 a 6/1/2004	0,5 a 0,95	114,69	64,8	158,94	106,57	45,4
INTERMEDIÁRIO	07/01/2004 a 31/1/2004	0,85 a 1,15	88,53	62,54	218,7	151,41	45,4
MATURAÇÃO	01/02/2004 a 4/3/2004	0,50 a 0,85	150,26	69,24	220,95	151,89	0

Estes poços estão dispostos a jusante das parcelas de milho irrigadas com efluente não-desinfetado, nas profundidades de irrigação de 60 e 40 cm, aproximadamente.

Os resultados das análises para nitrato, e que excedem o valor exigido pela Portaria 518, foram encontrados durante o período intermediário de desenvolvimento da planta.

Acredita-se que a precipitação neste período auxiliou a lixiviação do nitrogênio até atingir as águas subterrâneas. O acúmulo de nutrientes durante as safras anteriores (6 safras no total) também deve ter influenciado na concentração do nitrato encontrado nas amostras, devido a uma possível sobrecarga de matéria orgânica concentrada neste solo ao longo do tempo.

Os maiores valores encontrados para nitrato conferem com os poços dispostos nas situações mais críticas, recebendo maiores quantidades de efluente sem desinfecção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

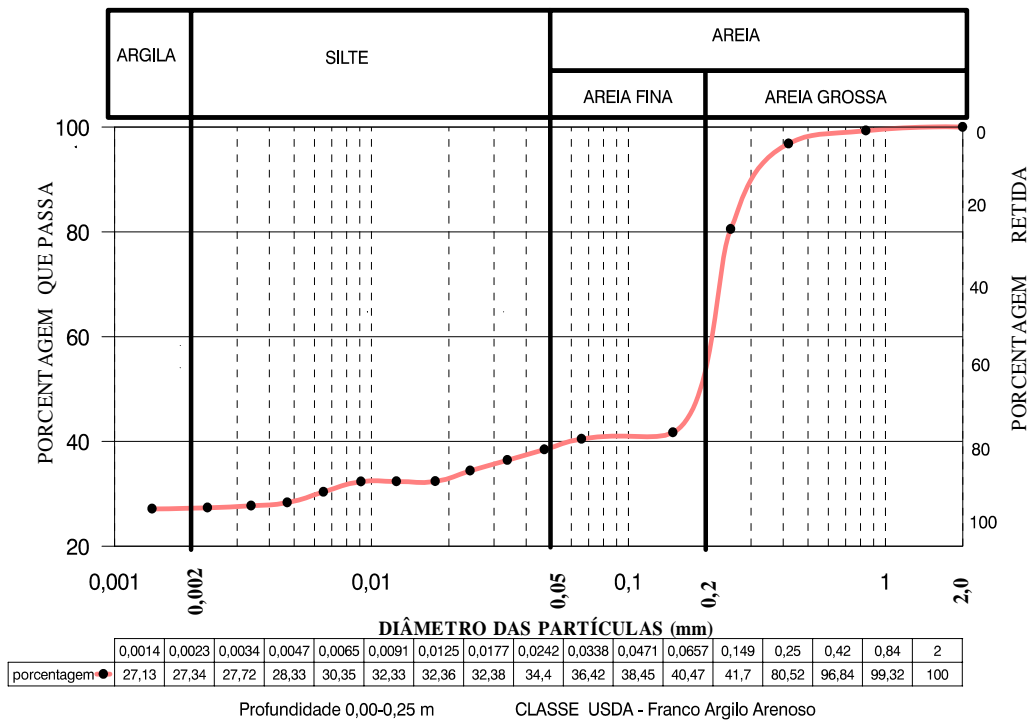
- [1] ABNT, norma NBR 13895 “ Construção de poços de monitoramento e amostragem”, junho de 1997.
- [2] CASARINI, D. C. P. et al. “Estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade e de Intervenção para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – Relatório Final.” São Paulo : CETESB. No Prelo. 2000.
- [3] CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Ambiental. “Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo” – (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103) São Paulo: CETESB. 2001. 96p.

- [4] CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Ambiental. “Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2001-2003” –São Paulo: CETESB 2004. – (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103). 137p.
- [5] CHERNICHARO, C.A.L. et al. “Pós – Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios” Prosab , 544p, ABES - 2001.
- [6] CORAUCCI FILHO, B. et al. “Aplicação no Solo de Água Residuária Cítrica Contendo Óleo Essencial Utilizando a Técnica de Irrigação por Sulcos de infiltração.” In: I Simposio Latino Americano de Tratamiento y Reuso del Agua. Cidade do México-DF, México , 1998.
- [7] DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 5 – Campinas. DAEE/SOMA/S.P. São Paulo 2v. 1982.
- [8] EMBRAPA –Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária “Sistema Brasileiro de Classificacao de Solos”, 412 p. 1998
- [9] FEITOSA, F.A.C., MANOEL FILHO, J. “Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações” Fortaleza: CPRM, Labhid – UFPE, 412p: il, 1997.
- [10] FERREIRA, L.M.R. “A Prática de disposição de Efluentes Domiciliares in Situ e os Impactos nas Águas Subterrâneas. Estudo de Caso: Município de Campinas, São Paulo”. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, 136p., 1999.
- [11] GOLDEMBERG, J. Secretaria do Estado do Meio Ambiente - “Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo” – (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103) São Paulo: CETESB. 2001. 96p.
- [12] IG/CETESB/DAEE. “Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: SMA, 1997. 2v; 29 cm.. v. 144 p. v. 2 mapas. (Série Documento).
- [13] INSTITUTO GEOLÓGICO (IG). Subsídios para o Planejamento Regional e Urbano do Meio Físico na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba, S.P. IG/SMA. São Paulo. 4v., 1995.
- [14] MANCUSO, P. C. S. SANTOS, H. F. “Reúso de Água” Barueri, S.P., Manole, 2003.
- [15] MONARCA, S. et al. “The Influence of Different Disinfectants on Mutagenicity and Toxicity of Urban Wastewater.”, Water Research, v. 34, n. 17, p. 4261-4269.2000.
- [16] OMS – Organização Mundial da Saúde, “Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture” Techinal Report Series 778, Geneva 1989.
- [17] PAGANINI, W. S. “Disposição de Esgotos no Solo: Escoamento à Superfície. São Paulo, Fundo Editorial da AESABESP, 1997.
- [18] PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico “ Desinfecção de Efluentes Sanitários”, Ricardo Franci (coordenador) – ABES, Rio de Janeiro, 438p.:il. 2003.

- [19] PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. “Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo” José Roberto Campos (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- [20] RAIJ, B. van et al. “Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996, (Boletim Técnico, 100).
- [21] SILVA, F. G. B. et al. “Aplicação do Método de Determinação da Rede de Amostragem Ótima para Calibração de Sistemas de Distribuição de Água de Abastecimento através de Algoritmos Genéticos” In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2001, Aracajú, SE. Anais do XIV SBRH, CD ROM, 15 p.. Porto Alegre, RS: ABRH, 2001
- [22] TEIXEIRA, W. et al. “Decifrando a Terra.” – São Paulo : Oficina de Textos, 2000. Reimpressão 568p p558, 2001.
- [23] U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). “Guidelines for Water Reuse” Technology Transfer Manual n. EPA / 625 / R-92 / 004, Washington, 1992.
- [24] U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). “Alternative Disinfectants and oxidants guidance manual”. April 1999.
- [25] VIEIRA, D. B. Curs Aprofitament Agrícola dels Recursos Hidrics de Lês Conques. Solsona: Universitat de Lleida, 1999.
- [26] VON SPERLING, M., NASCIMENTO L.V., “A Resolução Conama 20/86 e as Legislações Estaduais de Classificação Das Águas e Lançamento de Efluentes” 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Rio de Janeiro, 1999.
- [27] WHITE, J. C. “Handbook of chlorination and Alternative Disinfectants”. Ed. John Wiley & Sons, INC. 4º ed. 1999. 1569p.
- [28] XU, P. et al. “Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design”. Water Research, v. 36, p. 1043-1055.2002.

ANEXOS.

**CURVA GRANULOMETRICA DO SOLO
SOLO GRAMINHA**



Anexo 3 - Curva Granulométrica do solo em seu estágio natural na profundidade de 0 – 25cm.