

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DO EFEITO POLUENTE DA VINHAÇA
INFILTRADA EM CANAL CONDUTOR DE TERRA
SOBRE O LENÇOL FREÁTICO**

MARIA TEREZA FALSETTI LUDOVICE

Campinas, 1997

L966e

33112/BC

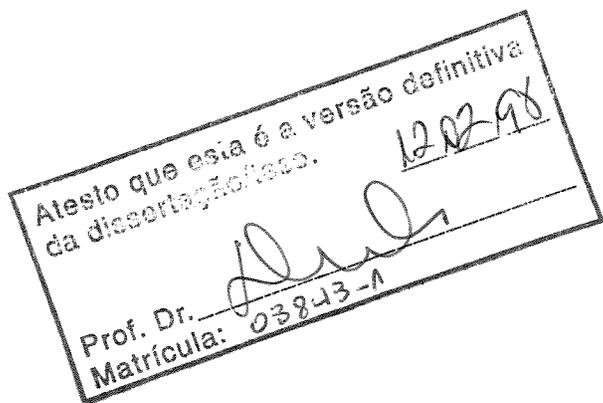
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DO EFEITO POLUENTE DA VINHAÇA
INFILTRADA EM CANAL CONDUTOR DE TERRA
SOBRE O LENÇOL FREÁTICO

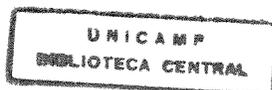
MARIA TEREZA FALSETTI LUDOVICE

Orientador: Dirceu Brasil Vieira

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Civil da
UNICAMP, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil, Área de Concentração:
Saneamento.



Campinas, 1997
S.P. - Brasil



7608086

DADE	DU
CHAMADA:	Unicamp
	966e
Ex.	
NBO BC	33112
IC	395/98
	<input type="checkbox"/> D <input checked="" type="checkbox"/>
CO	R\$ 4,00
A	25/03/98
CPD	

CM-00108276-9

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

L966e

Ludovice, Maria Tereza Falsetti

Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático. / Maria Tereza Falsetti Ludovice.--Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: Dirceu Brasil Vieira

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

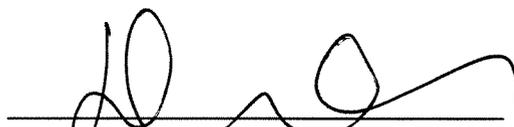
1. Vinhaça.* 2. Poluição.* 3. Águas subterrâneas.* 4. Agroindústria.* 5. Resíduos. I. Vieira, Dirceu Brasil. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

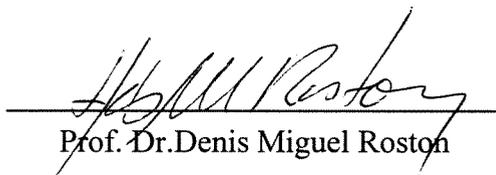
**ESTUDO DO EFEITO POLUENTE DA VINHAÇA
INFILTRADA EM CANAL CONDUTOR DE TERRA
SOBRE O LENÇOL FREÁTICO**

Maria Tereza Falsetti Ludovice

Dissertação de Mestrado Aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira
Presidente e Orientador/UNICAMP



Prof. Dr. Denis Miguel Roston
UNICAMP



Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho
UNICAMP

Campinas, 19 de dezembro de 1997

**“Vista de longe, a Terra é pura água.
Mas não é água pura. Esta é rara e
cada vez mais cara.”**

Ricardo Arnt

A Deus,
que nos deu o amor.

Aos meus pais, Geraldo e Aira,
e a minha tia Marina,
que me ensinaram o seu significado.

A Cláudio,
que me ajuda a vivê-lo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira, pela oportunidade, apoio, orientação e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo - FAPESP, pelo suporte financeiro.

À Faculdade de Engenharia Civil, ao Departamento de Saneamento e Ambiente, pelas instalações e recursos colocados à disposição, tornando exequível a fase analítica deste estudo.

À Dedini Açúcar e Álcool, em nome de Adriano Gianetti Dedini Ometto por ter cedido sua área para a instalação do experimento e por todo apoio técnico dispensado. A todos os seus funcionários e de um modo especial ao técnico agrícola José Olímpio, pelo auxílio imprescindível nas coletas de amostras, informações técnicas, carinho e dedicação.

Ao Prof. Dr. José Roberto Guimarães pela paciência, dedicação, discussões e sugestões proveitosas.

Aos membros da Banca Examinadora deste trabalho, pela ética e profissionalismo.

Aos funcionários do laboratório do Departamento de Saneamento e Ambiente e, carinhosamente a Carolina, Rodrigo, Acácio e Marcelo pelo apoio durante a fase analítica.

Aos funcionários da pós graduação Elisabete, Noêmia, Paula e Carlos por toda a atenção recebida e pelo acolhimento carinhoso.

Aos funcionários da gráfica Sr. Airton e Eliete pela dedicação, atenção e carinho dispensados.

Às bibliotecárias Raquel Coccato Ribeiro, Joana D'Arc S. Pereira e Ester Jesus de Carvalho, da BAE - Biblioteca da Área da Engenharia, pelo auxílio durante a fase de levantamento bibliográfico.

Aos meus amigos e colegas da Faculdade de Engenharia Civil: Myriam, Tânia, Fernando, Badá, Marcelo, Cássia, Ronaldo, Renata, Milena, Renata, Delma, Elcy, Sívia , Naylson, Martha, Marco, Ivan e da Faculdade de Engenharia Agrícola: Symona e Júnior, pela ajuda e companheirismo.

A Angela Cristina Orsi pelas horas de alegria e tristeza, calma e turbulência, que pontuaram nossa amizade durante todo o período desse curso.

A Elmiza Maria da Silva pela solidariedade, carinho fraternal e apoio, que ampliaram horizontes.

E de um modo muito especial ao Prof. Dr. Cláudio Cícero Sarti pelas inúmeras e incontáveis horas de discussão, apoio e dedicação ao longo deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xii
Lista de Abreviaturas e Símbolos.....	xviii
Resumo.....	xxiv
Abstract.....	xxv
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivos.....	3
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 - A Vinhaça.....	4
2.2 - Composição Química da Vinhaça.....	5
2.3 - A Vinhaça como Agente Poluidor.....	9
2.3.1 - Breve Histórico.....	9
2.4 - Transformações do Nitrogênio no Solo.....	15
2.5 - Tratamento de Efluentes no Solo.....	18
2.6 - Considerações Sobre Água Subterrânea.....	20

3 - MATERIAL E MÉTODO.....	22
3.1 - Local do Experimento.....	22
3.2 - Descrição do Sistema de Aplicação de Vinhaça.....	24
3.3 - Estações de Monitoramento.....	24
3.3.1 - Coleta de Amostras.....	25
3.3.2 - Lisímetro de Sucção.....	26
3.3.3 - Caixa de Drenagem Livre.....	27
3.4 - Caracterização do Solo.....	28
3.4.1 - Análise Química.....	28
3.4.2 - Análise Física.....	28
3.4.2.1 - Determinação da Curva Granulométrica.....	28
3.4.2.2 - Determinação da Curva Característica de Retenção da Água do Solo.....	29
3.4.2.3 - Determinação da Densidade Global ou Aparente.....	29
3.4.2.4 - Determinação da Densidade Real.....	30
3.5 - Determinação da Água Disponível do Solo.....	30
3.6 - Percolação da Água no Solo.....	31
3.7 - Caracterização da Vinhaça.....	31
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 - Característica Química da Vinhaça.....	36
4.1.1 - pH.....	36
4.1.2 - Demanda Química de Oxigênio.....	39
4.1.3 - Condutividade Elétrica.....	43

4.1.4 - Nitrogênio Total.....	47
4.1.5 - Nitrogênio Kjeldahl.....	50
4.1.6 - Nitrogênio Amoniacal.....	54
4.1.7 - Nitrogênio Nitrato.....	59
4.1.8 - Nitrogênio Nitrito.....	63
4.2 - Diferenças nas Concentrações Amostras Obtidas dos Dois Tipos de Coletores.....	67
4.3 - Resultados da Caracterização do Solo das Estações de Monitoramento.....	69
4.3.1. - Análise Química.....	69
4.3.2 - Análise Física.....	69
4.4 - Determinação da Altura de Água Disponível no Solo.....	70
4.5 - Percolação da Água no Solo.....	71
5 - CONCLUSÃO.....	72
ANEXO 01 - Resultados Obtidos para os Pontos Testmunhas para todos os Parâmetros Analisados.....	73
ANEXO 02 - Resultado das Análise Química do Solo das Estações de Monitoramento.....	82
ANEXO 03 - Resultados Obtidos da Determinação da Curva Granulométrica.....	84
ANEXO 04 - Resultados Obtidos da Determinação da Curva Característica de Retenção da Água do Solo.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Distribuição Mundial da Água.....	2
FIGURA 2.1 - Fluxograma das Fases da Industrialização de Açúcar e Álcool.....	6
FIGURA 2.2 - Dinâmica do Nitrogênio no Sistema do Solo: Processos de Transformação.....	17
FIGURA 3.1 - Croqui de localização da destilaria, das estações de monitoramento e dos pontos testemunhas.....	23
FIGURA 3.2 - Abertura de trincheira para instalação dos coletores.....	24
FIGURA 3.3 - Estação de monitoramento evidenciando os coletores.....	25
FIGURA 3.4 - Sonda para retirada de amostra de solução do solo.....	26
FIGURA 3.5 - Sonda de ponta porosa e caixa de drenagem livre.....	27
FIGURA 3.6 - Montagem do sistema F.I.A. em confluência única.....	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Composição Química da Vinhaça de Diferentes Tipos de Mosto.....	7
TABELA 2.2 - Demanda Bioquímica de Oxigênio em Relação a Outros Resíduos Industriais	10
TABELA 4.1- Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01 e na superfície do Canal Principal.....	36
TABELA 4.2- Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02 e na superfície do Canal Principal.....	37
TABELA 4.3 - Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04 e na superfície do Canal Principal.....	37
TABELA 4.4 - Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05 e na superfície do Canal Principal.....	38
TABELA 4.5 - Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06 e na superfície do Canal Principal.....	38

TABELA 4.6 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	40
TABELA 4.7 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	40
TABELA 4.8 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	41
TABELA 4.9 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	41
TABELA 4.10 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	42
TABELA 4.11 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01 e na superfície do Canal Principal.....	43
TABELA 4.12 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02 e na superfície do Canal Principal.....	44

TABELA 4.13 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04 e na superfície do Canal Principal.....	44
TABELA 4.14 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05 e na superfície do Canal Principal.....	45
TABELA 4.15 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06 e na superfície do Canal Principal.....	46
TABELA 4.16 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	48
TABELA 4.17 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	48
TABELA 4.18 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	49
TABELA 4.19 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	49
TABELA 4.20 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	50

TABELA 4.21 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	51
TABELA 4.22 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	52
TABELA 4.23 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	52
TABELA 4.24 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	53
TABELA 4.25 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	54
TABELA 4.26 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	55
TABELA 4.27 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	56
TABELA 4.28 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	57

TABELA 4.29 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	58
TABELA 4.30 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	59
TABELA 4.31 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	60
TABELA 4.32 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	61
TABELA 4.33 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	62
TABELA 4.34 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	62
TABELA 4.35 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	63
TABELA 4.36 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	64

TABELA 4.37 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	65
TABELA 4.38 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	66
TABELA 4.39 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	66
TABELA 4.40 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.....	67
TABELA 4.41 - Comparativo das maiores concentrações das amostras coletadas nas sondas e caixas de drenagem livre.....	68
TABELA 4.42 - Valores de pH resultantes do monitoramento de sonda e caixa de drenagem livre.....	69
TABELA 4.43 - Dados de Densidade Aparente obtidos das amostras coletadas nas Estações de monitoramento.....	70
TABELA 4.44 - Dados de Densidade Real obtidos das amostras coletadas nas Estações de monitoramento.....	70
TABELA 4.45 - Determinação da Altura da Água Disponível no Solo.....	70
TABELA 4.46 - Determinação da Porcentagem da Água Retida, da Água Percolada e de sua Infiltração no Solo.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT.-.Associação Brasileira de Normas e Técnicas

c.-.Concentração

CaCl₂.-.Cloreto de Cálcio

CDL.-.Caixa de Drenagem Livre

CC.-.Capacidade de Campo

C.E.-.Condutividade Elétrica

Cl.-.Cloro

cm².-.Centímetro Quadrado

cm³.-.Centímetro Cúbico

CP_a.-.Canal Principal

CP_b .-.Canal Principal Localizado na Área Mais Elevada da Destilaria

CP_a 1-2.-.anal Principal entre as Estações de Monitoramento 1 e 2

C.T.C.-.Capacidade de Troca de Cátions

Cu .-.Cobre

Da.-.Densidade aparente

DBO.-.Demanda bioquímica de oxigênio

dg.-.Densidade global

DP.-.Desvio padrão

DQO.-.Demanda química de oxigênio

dr.-.Densidade real

EDTA.-.Ácido etilenodiamino tetracético

Eh.-.Potencial redox

E.M.-.Estação de monitoramento

F.-.Infiltração

Fe.-.Ferro

g.-.Grama

g/cm³.-.Grama por centímetro cúbico

H.-.Altura da água disponível no solo

h.-.Hora

H_{em}.-Profundidade da estação de monitoramento

H+Al.-Acidez trocável

ha.-Hectare

K.-Potássio

kg.-Quilo

L.-Litro

**—
M.-Média**

m.-Metro

m³ .-Metro cúbico

m³/h.-Metro cúbico por hora

m³/ha.-Metro cúbico por hectare

meq/cm³.-Miliequivalente por centímetro cúbico

Mg.-Magnésio

mg.L⁻¹.-Miligrama por litro

mm.-Milímetro

Mn.-Manganês

M.O.-.Matéria orgânica

mS.cm⁻².-.Mili Siemens por centímetro quadrado - unidade de condutividade

N.-.Nitrogênio

NaOH.-.Hidróxido de sódio

ND.-.Não detectado

N-NH⁴.-. Nitrogênio amoniacal em N

N-NTK.-.Nitrogênio Kjeldahl em N

N-NO₃.-.Nitrogênio nitrato em N

N-NO₂.-.Nitrogênio nitrito em N

N-ORG.-.Nitrogênio orgânico em N

N₂O.-.Óxido de nitrogênio

N₂.-.Nitrogênio gasoso (nitrogênio molecular)

OH.-.Hidroxidrila

P.-.Fósforo

pH.-.Potencial hidrogeniônico

PM.-.Ponto de murchamento

Pp.-.Porcentagem de água percolada

ppm.-.Parte por milhão

Pr.-.Porcentagem de água retida

psi.-.Libra por polegada quadrada - unidade de pressão

PTFE.-.Politetrafluoretileno

PVC.-.Cloroeto de poli-vinila

Rs.-.Remoção entre efluente do canal e afluente da sonda de 0,5 m (%R)

Rs₁.-.Remoção entre efluente do canal e afluente da sonda de 1,5 m (%R)

Rc.-.Remoção entre efluente do canal e afluente da caixa de 0,5 m (%R)

Rc₁.-.Remoção entre efluente do canal e afluente da caixa de 1,5 m (%R)

Ra.-.Remoção entre sondas a 0,5 m e a 1,5 m de profundidade (%R)

Rb.-.Remoção entre caixas a 0,5 m e a 1,5 m de profundidade (%R)

Rc.-.Remoção entre sondas e caixas a 0,5 m de profundidade (%R)

Rd.-.Remoção entre sondas e caixas a 1,5 m de profundidade (%R)

S.-.Enxofre

Sb.-.Soma de bases

Sd.-.Sonda

SO₄.-.Sulfato

Tf.-.Tempo de infiltração

V.-.Saturação em Bases

Vc.-.Volume do canal

Vs.-.Volume de água armazenada no solo

%.-.Porcentagem

µg.cm⁻³.-.Micrograma por centímetro cúbico

RESUMO

A área experimental selecionada localiza-se na Destilaria São João, no Município de São João da Boa Vista, Estado de São Paulo. Este estudo desenvolveu-se no canal condutor - canal principal - construído há aproximadamente 13 anos, o qual durante todas as safras transporta vinhaça para os canais secundários e terciários para irrigação, que vão utilizá-la na fertirrigação dos talhões através de conjuntos de aspersão com montagem direta. Esse canal adutor, devido à topografia da área prolonga-se na parte mais elevada da destilaria para onde o efluente é recalcado para aí ser distribuído para os canais de irrigação. Nele, ao longo de seu comprimento, foram instaladas seis estações de monitoramento, onde colocou-se duas sondas de cápsula porosa e duas caixas coletoras de água de drenagem. Tais unidades foram colocadas a 0,5 m e 1,5 m sob o canal, visando a coleta de amostras de água para análise química. Como pontos testemunhas foram também monitorados uma cisterna, um poço, um açude e o rio, todos dentro da mesma propriedade e nas proximidades do canal. Com os dados coletados das estações de monitoramento e dos pontos testemunhas o objetivo pretendido foi o de verificar se o transporte da vinhaça pelo canal condutor promove alteração das características da água subterrânea através das análises de pH, Condutividade Elétrica, Demanda Química de Oxigênio, Nitrogênio Amoniacal, Nitrato, Nitrito e Kjeldahl; e assim determinar a taxa de remoção, avaliando a capacidade do solo em reter as várias substâncias presentes na vinhaça, além de fornecer subsídios técnicos para a elaboração de normas legais. Os resultados obtidos mostram a ineficiência nas remoções, confirmando desse modo que a infiltração de vinhaça no canal de transporte tem efeito poluente sobre o lençol freático. As exceções foram as remoções calculadas para os valores de DQO, pois o acréscimo das espécies de nitrogênio no solo e o aumento dos valores da condutividade elétrica nesse meio, apresentam um quadro diverso. O aumento encontrado para os valores de pH é concordante com a literatura revisada.

ABSTRACT

The selected experimental area locates in São João Distillery, in the city of São João da Boa Vista, at São Paulo State, Brasil. This research developed in the transport channel, built about 13 years, which all over the crop transports vinasse to the secondaries and terciaries irrigation channels, that use it in fertirrigation areas employing sprinkler irrigation system. The conducting channel due to the area topography continues in the distillery highest point to where the effluent is sent up to be distributed to the irrigation channels. Under the transporting channel, at a depth of 0,50 m and 1,50 m, were installed six monitoring stations where was placed two lisymeters and two free dranaige boxes in each of them. Such collectors aim the collecting of water samples to chemical analisys. As testemony points were monitored a cistern, a well, a dam and a river all in the same property and near the conducting channel. With the obtained results from the monitoring stations and from the testmony points the aim wanted was to verify if the vinasse transportation by the conductor channel caused alterations of groundwater characteristics through pH, Eletric Conductivity, Chemical Oxygen Demand, ammonium, nitrate, nitrite and Kjeldahl nitrogen analysis and then determine the removal rate, evaluating the soil capacity of holding the several substances present in vinasse, besides supplying technical subsidy to elaborate legal rules. The obtained results showed the inefficiency of the removal rates, corroborating that the vinasse infiltration in the transporting channel has a pollutant effect on the groundwater. The exceptions were the removal rates found for chemical oxygen demand, because the increases of nitrogen species in soil and the augmentation of electric conductivity values offer a different reallity. Increasing values found for pH agree with the reviewed literature.

1 - INTRODUÇÃO

Para a manutenção da vida, seja ela humana, animal ou vegetal, a água é o elemento indispensável para que esse processo ocorra. Por ser um bem imprescindível para a sobrevivência da humanidade, este limitado recurso deve ser preservado quanto a sua qualidade e observados determinados procedimentos quanto à racionalização de seu uso.

Estimada em 97 % de toda a água doce do planeta (ÁGUA, 1974), a água subterrânea acumulada há milhares de anos, representa uma reserva estratégica de difícil avaliação, uma vez que em muitos casos apresenta qualidade superior à da água superficial para fins de abastecimento e sua reposição é muito lenta. Constitui-se, desse modo, em preocupação constante para os sanitaristas que lutam pela sua preservação.

Como os recursos hídricos superficiais estão se tornando escassos devidos não só a sua poluição mas também ao seu desperdício, o incremento de seu uso para atividades antrópicas é motivo de disputa, realçando sua importância geopolítica internacional, podendo-se citar o conflito no Oriente Médio entre Síria, Líbano, Israel e Jordânia pelo acesso às águas do Rio Jordão. Também não se pode contar atualmente com a água dos oceanos, pois, é praticamente indisponível para uso humano, uma vez que a metodologia de dessalinização apresenta custos proibitivos, que se justificam apenas em áreas desérticas.

O nosso planeta dispõe de 97 % de água salgada e só menos de 3% são água doce. Dessa última, 77 % estão congeladas nos círculos polares; 22 % formam as águas subterrâneas e o restante encontra-se nos rios, lagos, plantas e animais, conforme dados mostrados na Figura 1.1.

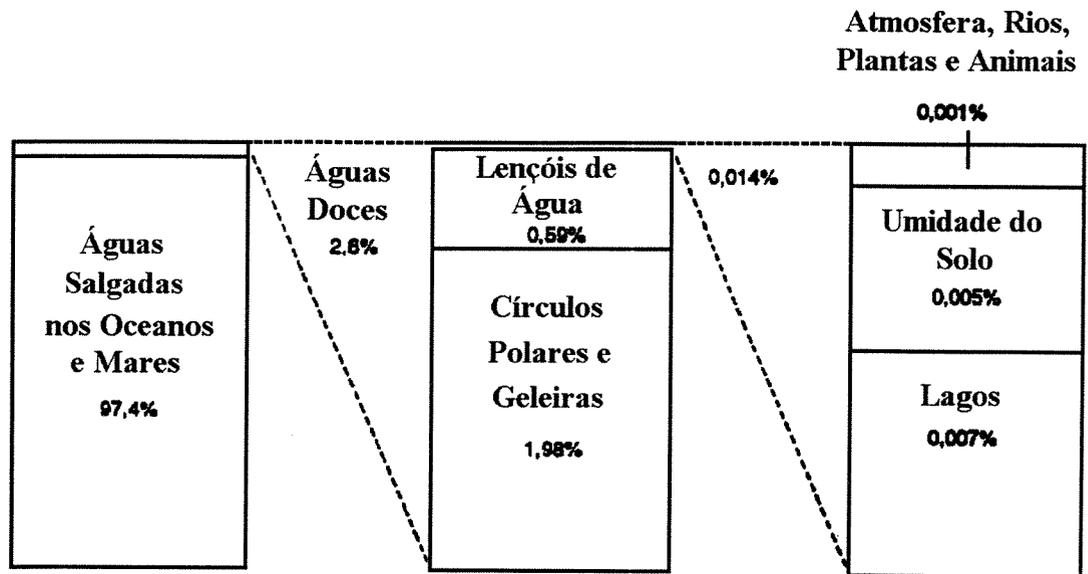


FIGURA 1.1 - Distribuição Mundial da Água

Fonte: adaptado de Speidel & Agnew (1988) apud Manual (1993)

Dentre as inúmeras causas de poluição das águas continentais, a vinhaça, resíduo resultante da produção de álcool e açúcar, representa um problema de relevante importância, por ser um efluente de cor parda, corrosivo e altamente poluidor, deixando a destilaria com temperatura em torno de 80 °C. Com essas características, além de ser um agente poluente nefasto ao ambiente, é de difícil transporte e armazenamento.

Para a produção de cada litro de álcool são gerados, em média, 13 litros de vinhaça. Como a produção de vinhaça é elevada e seu potencial poluidor é grande, seu descarte tornou-se fonte de preocupação constante para os ambientalistas. Diante de tal quadro, foram desenvolvidos alguns usos alternativos para a vinhaça: produção de biogás, produção de ração animal, produção de proteínas e fertirrigação do canaviais entre outros. Esta última é a alternativa mais utilizada, sendo benéfica à lavoura e não prejudica o ambiente se utilizada com a observância dos cuidados técnicos, como recomendado por VIEIRA, (1983).

Em decorrência dos bons resultados agrícolas advindos de sua aplicação na lavoura canavieira, proliferaram os projetos para sua utilização. Normalmente, é feita pelo método de irrigação por aspersão do tipo montagem direta, sendo o líquido levado aos pontos

de aplicação por meio de canais. Como parte dessa rede, o canal principal praticamente conduz a vinhaça durante toda safra, e como não são revestidos há infiltração e conseqüentemente o risco de o poluente atingir a manta freática de aquíferos subterrâneos.

1.2 - Objetivos

Dentro desse contexto o objetivo dessa pesquisa foi:

1 - Verificar e avaliar se o transporte da vinhaça pelo canal condutor promove uma eventual alteração das características da água subterrânea mediante a amostragem da água retida do solo e da água percolada sob esses canais. Foram analisados os parâmetros: Condutividade Elétrica (C.E.), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Potencial Hidrogeniônico (pH) e Nitrogênio Amoniacal, Nitrato, Nitrito e Kjeldahl;

2 - Determinar a taxa de remoção, avaliando a capacidade do solo em reter as várias substâncias presentes na vinhaça, calculando a diferença entre o valor das diversas variáveis, tanto no efluente como no afluente monitorizados, e

3 - Fornecer subsídios técnicos para elaboração de legislação pertinente, garantindo a preservação dos recursos hídricos subterrâneos.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - A Vinhaça

O Brasil é o maior produtor mundial de álcool combustível, e com o advento do PROGRAMA NACIONAL DO ÁLCOOL - PROALCOOL, o Estado de São Paulo foi o que mais se destacou nesse segmento da economia brasileira. A crise do petróleo, que teve seu início em 1973, mostrou a dependência dos países importadores de petróleo e a insegurança que tal situação gerava, pois a ORGANIZAÇÃO DOS PAÍSES EXPORTADORES DE PETRÓLEO - OPEP, detendo o monopólio do petróleo, interferia, fortemente, na política e na economia mundiais. Diante tal quadro, em 1975, foi lançado no Brasil o Programa Nacional do Álcool - PROÁLCOOL, tendo como finalidade precípua o abastecimento do mercado interno com álcool combustível, em substituição gradativa à gasolina. Inúmeras usinas foram implantadas (destilarias autônomas) e, as que já produziam açúcar foram ampliadas, passando também a produzir esse combustível (destilarias anexas).

A vinhaça, principal resíduo da destilaria, por ser um efluente altamente poluente e apresentar um volume de produção considerável, torna-se, desse modo, de difícil transporte e armazenamento, problema esse, crucial para as destilarias no tocante a sua destinação. Em decorrência dessas dificuldades, a vinhaça vem sendo exaustivamente pesquisada.

Conforme ANDRADE (1966) apud VIEIRA (1986), as primeiras experiências sobre aplicação de vinhaça na lavoura canavieira datam de 1918, porém os resultados não foram satisfatórios. Somente por volta de 1943 é que foram iniciadas as primeiras aplicações sistemáticas de vinhaça em cultura de cana-de-açúcar (ALMEIDA, 1952 e LIMA, 1969) apud

VIEIRA, (1983) Todavia, a utilização prática de vinhaça como fertilizante somente teve impulso com as medidas de proteção do meio ambiente e a severa atuação dos órgãos de controle da poluição como a Cetesb, no Estado de São Paulo, isto levou as empresas a adotar outras alternativas para a destinação da vinhaça bem diferentes do que o simples lançamento em cursos de água. O emprego da vinhaça na cultura de cana-de-açúcar, rapidamente, mostrou-se altamente benéfico e viável sob o ponto de vista econômico.

SILVA & SILVA (1986) relataram que a vinhaça quando coletada nas descargas da torre de destilação, apresenta-se como um líquido de cor parda clara, que escurece à medida que se oxida pela exposição ao ar. Seu pH é usualmente baixo (3,7 a 4,5). A presença de ácido sulfúrico livre usado nas dornas de fermentação, torna-o corrosivo. Não resta dúvida de que este efluente, por razões óbvias, apresenta-se como um agente poluente de grande periculosidade à fauna e flora aquática, mesmo porque, dentre os efluentes que se conhece, por seu alto volume de produção e elevada DBO.

2.2 - Composição Química da Vinhaça

A vinhaça procedente da fermentação do mel final é considerada por ALMEIDA (1952) como um resíduo composto de 93% de água e 7% de sólidos; destes, 74,85 % são matéria orgânica e, o restante 25,15 % corresponde à fração mineral.

Sua composição depende do tipo de mosto utilizado. Entende-se por mosto todos os líquidos passíveis de sofrer fermentação. Durante a fermentação, o mosto transforma-se em vinho. Este por destilação dará o álcool, gerando como resíduo a vinhaça (ALMEIDA, 1955). As fases do processo de industrialização da cana-de-açúcar para obtenção de açúcar e álcool, podem ser observadas na Figura 2.1.

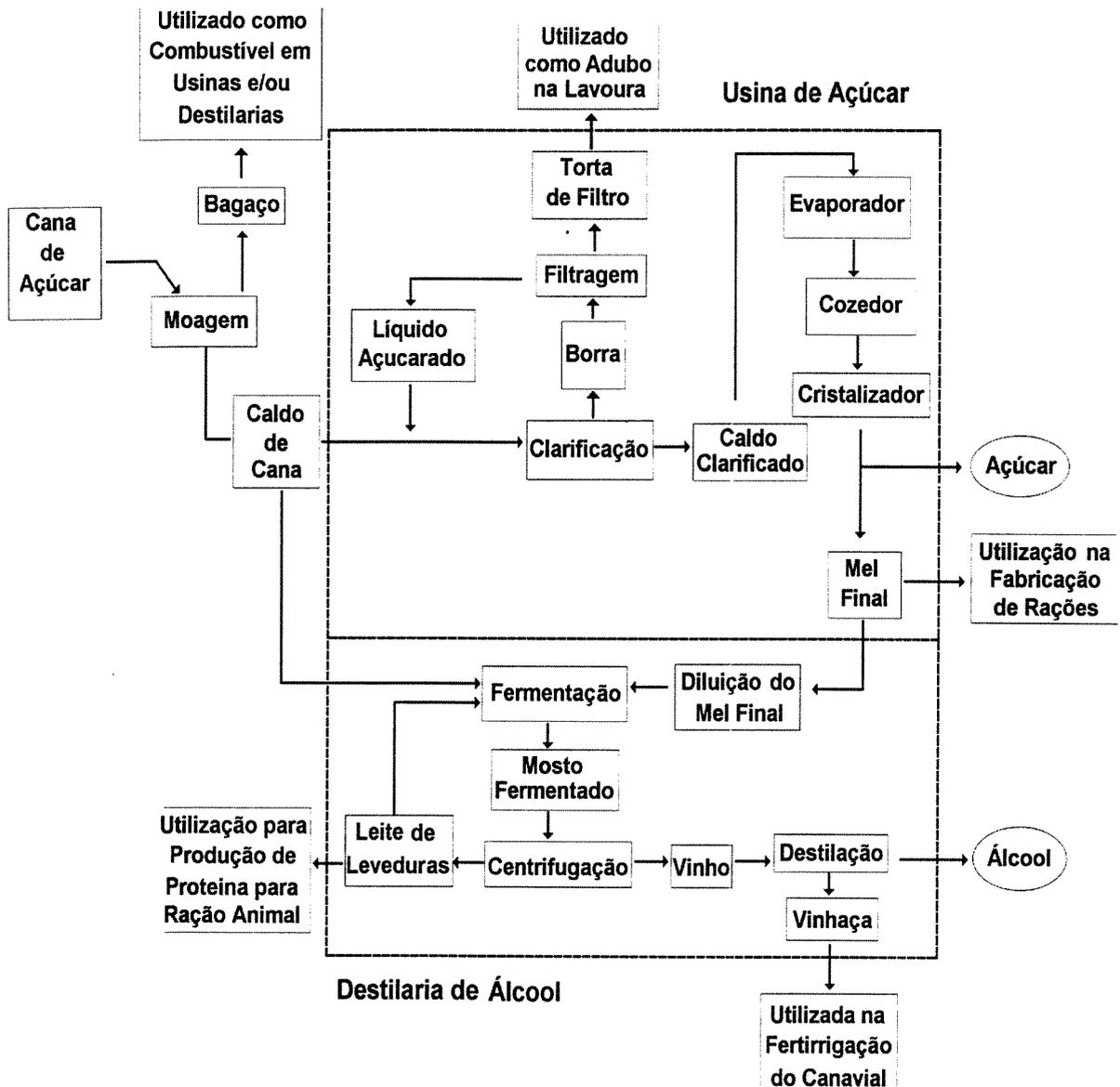


FIGURA 2.1 - Fluxograma das fases da industrialização de açúcar e álcool

Fonte: ÁLCOOL (1977).

A vinhaça de mosto de melaço, ou mel final, é a mais concentrada, sendo subproduto da produção de açúcar, é obtida no processo de cristalização do caldo da cana-de-açúcar. O caldo extraído da cana nas moendas recebe ácido sulfúrico e nutrientes formando o mosto, que vai alimentar as dornas de fermentação em destilarias de álcool. Este mosto é conhecido como mosto de caldo. A vinhaça de mosto misto é aquela originada da mistura de mosto de caldo e de mosto de melaço. A Tabela 2.1 apresenta a composição da vinhaça dos diferentes tipos de mosto.

TABELA 2.1 - Composição química da vinhaça de diferentes tipos de mosto.

PARÂMETRO	Mosto		
	Melaço	Caldo	Misto
pH	4,2 - 5,0	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6
Temperatura (°C)	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg.L ⁻¹ O ²)	25.000	6.000-16.500	19.800
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	65.000	15.000-33.000	45.000
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	81.500	23.700	52.700
Sólidos Voláteis (mg.L ⁻¹)	60.000	20.000	40.000
Sólidos Fixos (mg.L ⁻¹)	21.500	3.700	12.700
Nitrogênio (mg.L ⁻¹ N)	450 - 1.610	150 - 700	480 - 710
Fósforo (mg.L ⁻¹ P ₂ O ₅)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg.L ⁻¹ K ₂ O)	3.740 - 7.830	1.200 - 2.100	3.340 - 4.600
Cálcio (mg.L ⁻¹ CaO)	450 - 5.180	130 - 1.540	1.330 - 4.570
Magnésio (mg.L ⁻¹ MgO)	420 - 1.520	200 - 490	580 - 700
Sulfato (mg.L ⁻¹ SO ₄)	6.400	600 - 760	3.700 - 3.730
Carbono (mg.L ⁻¹ C)	11.200-22.900	5.700-13.400	8.700-12.100
Relação C/N	16 - 16,27	19,7 - 21,07	16,4 - 16,43
Matéria Orgânica (mg.L ⁻¹)	63.400	19.500	3.800
Substâncias Redutoras (mg.L ⁻¹)	9.500	7.900	8.300

Fonte: Cetesb apud Química e Derivados (1981)

Pode-se observar que a matéria orgânica é o constituinte que se apresenta em maior proporção podendo haver, e em consequência da biodegradação, um aumento da disponibilidade de alguns nutrientes, aumento da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Soma de Bases (Sb). Dentre os minerais destaca-se o potássio.

O alto teor desse elemento contido na vinhaça, pode modificar as condições de salinidade do solo e, conseqüentemente, a condutividade elétrica desse meio que sofrerá alterações. O aumento nos teores dessa variável em função da aplicação de doses crescentes

de vinhaça, foram verificados por RANZANI (1956), REZENDE (1979) e ROSSIELO et al. (1981).

Segundo AYERS & WESTCOT (1991) a condutividade se classifica em: nenhuma quando o valor detectado for menor que 70 mS.cm^{-2} ; ligeira a moderada, apresentando valores entre $70 - 300 \text{ mS.cm}^{-2}$ e severa, com valores maiores que 300 mS.cm^{-2} .

O pH da vinhaça mostrado pelos três tipos de mosto é ácido, mas a literatura é unânime ao fazer referência sobre a elevação do pH em solos tratados com vinhaça.

Segundo NUNES et al. (1981), o aumento do pH pode ser explicado pela introdução de cátions presentes na vinhaça e pelo decréscimo de Eh, que é originário da anaerobiose provocada pelo consumo de oxigênio na degradação da matéria orgânica presente nesse efluente, causando uma redução de oxi-hidróxidos de ferro e manganês. Relacionando esses dois parâmetros, pH e Eh, em estudo elaborado por LEAL et al. (1983), a elevação do pH é resultante de reações de redução, nas quais há um consumo de H^+ , que se encontra em condições de predominância no solo, refletindo numa diminuição do potencial redox.

Uma outra explicação para a elevação do pH é dada por CAMARGO et al. (1983) que a relaciona com a elevação da saturação em bases, com o processo de desnitrificação e outros de aceitação de elétrons e desprendimento de OH^- em condições de anaerobiose.

Segundo SANTANA (1985), a vinhaça, em função de sua composição química, pode ter diversos usos, dentre os quais o agrícola, substituindo total ou parcialmente as adubações minerais da cana-de-açúcar. Uma série de fatores interfere na composição química da vinhaça, como a natureza e origem da matéria prima, assim como o tipo e a condução do aparelho de destilação os mais importantes. De acordo com a natureza do mosto utilizado, verificam-se certas variações na composição química dos resíduos.

PENATTI et al (1988) relatam que a vinhaça pode ser empregada como fertilizante orgânico e mineral, contendo alto teor de matéria orgânica e potássio, sendo relativamente pobre em nitrogênio e cálcio com baixos teores de fósforo e magnésio.

A vinhaça ainda pode ser utilizada como fonte geradora de gás combustível (metano) proveniente de fermentação anaeróbica e proteína celular para ração animal

resultante de fermentação aeróbica. A vinhaça concentrada é usada como ingrediente para ração.

2.3 - Vinhaça como Agente Poluidor

2.3.1 - Breve Histórico

Segundo ALMEIDA (1955), a vinhaça como fator de poluição dos corpos de água, possui ação redutora extremamente alta, exigindo uma elevada quantidade de oxigênio para decomposição da matéria orgânica nela. É de alta nocividade aos animais aquáticos como sapos, peixes e crustáceos, afugenta a fauna marítima que procura a costa para a desova, destrói peixes larvófagos causando desequilíbrio, matando microflora, microfauna e plantas aquáticas submersas e flutuantes. A vinhaça apresenta ainda problemas de insalubridade como: mau cheiro, devido à formação de gases decorrente da decomposição anaeróbia que podem apresentar características de toxicidade; confere à água gosto, turbidez e cor, agravando o problema da malária pelo aumento na quantidade de pernilongos.

De acordo com ALEXANDER (1967) as condições redutoras resultantes da decomposição da matéria orgânica ocorrem também em solos que se apresentam encharcados, devido a uma analogia nos processos bioquímicos, que caracterizam solos anaeróbios resultantes de encharcamento ou da adição de efluentes orgânicos com DBO elevada.

VALSECHI (1955) já combatia os depósitos de vinhaça e posterior secagem ao sol, que se constituem em técnica responsável não só pela poluição da água superficial e do ar, mas também da água subterrânea.

De acordo com KIRZNER (1981), na Tabela 2.2 encontram-se alguns dados que possibilitam uma avaliação do poder poluidor da vinhaça, representado pela Demanda Bioquímica de Oxigênio em relação a outros resíduos industriais:

TABELA 2.2 - DBO da vinhaça em relação a outros resíduos industriais

RESÍDUO	DBO (média) (mg.L ⁻¹)
Vinhaça	30.000
Cortumes	4.000
Enlatamento de ervilhas	3.000
Fábrica de manteiga	1.400
Indústria têxtil	1.200
Fábrica de carne em conserva	900
Fábrica de leite condensado	600
Cervejaria	600
Fábrica de papel	500
Esgotos sanitários	300

Fonte: KIRZNER (1981)

A respeito de aplicação de taxas elevadas de vinhaça no solo, CENTURIÓN et al. (1981) observaram que as mesmas conduzem a efeitos indesejáveis, citando-se: comprometimento da qualidade da cana para produção de açúcar, poluição do lençol freático e salinização do solo.

KIRZNER (1981) comenta que se costuma também avaliar o poder poluidor da vinhaça em termos de equivalente populacional: a poluição provocada por dois litros de vinhaça (DBO 30.000 mg.L⁻¹) é equivalente àquela provocada por um habitante. Assim, tomando-se por base uma destilaria com capacidade de produção diária de 120.000 L de álcool (produção de vinhaça: 120.000 x 13 = 1.560.000 litros), a poluição provocada pelo resíduo produzido, se lançado no rio, seria equivalente àquela causada pelas águas servidas e dejetos de uma cidade com 780.000 habitantes.

REZENDE (1984) tece considerações a respeito do método de disposição da vinhaça por infiltração direta ao subsolo em locais conhecidos por áreas de sacrificio ou lagoas de acumulação (são lagoas, sem revestimento, onde o excedente de vinhaça é acumulado para infiltração) sendo as mesmas fontes pontuais de poluição, resultado da interação dos seguintes fatores, como a existência de cargas perigosas de poluição, uso de

aquífero subterrâneo como fonte de abastecimento de água e a existência de condições hidrogeológicas favoráveis à rápida infiltração do poluente pela camada não saturada até o corpo do aquífero ainda não explorado. Esse método de disposição pode ser barato e vantajoso para o industrial, mas não representa nenhuma solução para a preservação do meio ambiente, pois resultará na condenação de grandes áreas com potencial para a exploração da água subterrânea. Ponderando quanto à prática de irrigações, utilizando-se volumes excessivos de vinhaça, REZENDE (1984) informa que as mesmas podem provocar dispersão do sistema coloidal, alterando drasticamente as propriedades físicas do solo; podendo determinar a salinização do solo, tornando-o infértil e, podem também contaminar os reservatórios de águas subterrâneas.

Em estudo desenvolvido por CUNHA et al (1987), considerou-se a dinâmica dos constituintes da vinhaça sobre o solo, nos aspectos físicos e químicos. Foi avaliado também o possível risco de poluição do lençol freático, utilizando-se elevadas doses de vinhaça (800 m³/ha) aplicada por aspersão, durante seis meses, em área de Latossolo Vermelho Amarelo. Os tensiômetros e extratores de solução do solo foram colocados a diversas profundidades, até 1,20 m. Os autores, entre outras conclusões a que chegaram, constataram que foi pequeno o risco de poluição do lençol freático, no entanto, recomendam melhores estudos para maiores períodos de aplicação de vinhaça. Desde que a lixiviação de íons abaixo da profundidade máxima de instalação das unidades coletoras foi pequena, tornou-se possível concluir que há pequeno risco do potássio e do nitrato de poluir a água subterrânea devido à irrigação com vinhaça até a taxa estudada.

Contudo, HASSUDA (1989) pesquisou na Usina São José da Estiva, no município de Novo Horizonte, neste Estado, área medindo cerca de 27 ha. Essa área com topografia suave e declividade de 4 % compreende a zona de infiltração da vinhaça e a zona de proteção do Córrego da Estiva. A Usina passou a operá-la na safra de 1975/1976, sendo que a zona de infiltração recebeu em torno de 348.000 m³/ano de vinhaça até 1984/1985. Atualmente, recebe o efluente apenas nos dias de chuva, pois o acesso às áreas de fertirrigação torna-se impossível. Foram escavados tanques nas cotas mais elevadas, nos quais a vinhaça é colocada, sendo distribuída por gravidade pela zona de infiltração, através de sulcos ou canais. Esse trabalho foi desenvolvido na área de infiltração e de proteção do córrego no período de julho/1985 a setembro/1987. O autor, mediante os resultados obtidos, concluiu ser negativo o impacto causado pela vinhaça na água subterrânea, tornando-a

inadequada para o consumo humano. Os parâmetros que excederam os valores máximos determinados pela legislação para o referido uso, foram os seguintes, em mg.L^{-1} : nitrogênio amoniacal: 0,005 a 9,8; magnésio: 1,20 a 210,0; alumínio: 0,02 a 23,0; ferro: 0,05 a 60,0; Manganês: 5,0 a 60,0 e cloreto: 4,0 a 640,0.

Continuando, HASSUDA (1989) propõe a aplicação urgente da legislação que permita efetiva proteção dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente porque a atividade em questão gera grande volume de efluente, disposto diretamente sobre importantes domínios aquíferos do Estado de São Paulo, na forma de infiltração ou fertirrigação.

REBOUÇAS et al (1989) pesquisaram os efeitos da infiltração de vinhaça em áreas de sacrifício no aquífero Bauru, no Município de Novo Horizonte, Estado de São Paulo. A área piloto possuía cerca de 27 ha, sendo que 50 % era ocupado pelas áreas de sacrifício, e a área restante constituía zona de proteção do riacho, onde foram instalados os vinte e um piezômetros que penetraram cerca de um metro na camada saturada, ao fim do período de estiagem. A maior parte da vinhaça infiltrada era originada de mosto misto, sendo essa prática de descarte do efluente praticada durante nove anos consecutivos. Um ano após a paralização periódica dessas áreas, recomendada para efeito de proteção ambiental, foi realizada a coleta da água subterrânea. Os autores constataram que a poluição advinda de tal prática resultava do aumento dos teores de Cl, Fe, Mn, SO_4 e K, e dos valores alterados de condutividade elétrica específica. Esses dados são indicativos de que a corrupção da água subterrânea é resultante da ação da infiltração do efluente objeto dessa pesquisa.

SÃO PAULO (1990) considera que os maiores riscos de poluição das águas subterrâneas estão associados aos impactos da produção industrial e da agroindústria carecendo, ainda, de avaliação cuidadosa. No interior do Estado de São Paulo, a utilização crescente de agrotóxicos tem acelerado significativamente a poluição das águas do subsolo. As novas tecnologias de cultivo de cana-de-açúcar, baseadas no uso indiscriminado desses insumos modernos, podem acarretar problemas a longo prazo, na qualidade das águas subterrâneas. No aquífero Bauru-Caiuá a degradação pelas atividades agrícolas tem sido notória nos últimos 10 anos, através dos teores excessivos de nitratos e presença de produtos químicos advindos da utilização crescente dos agrotóxicos.

GLOEDEN et al (1991) realizaram um estudo para determinar a dinâmica dos constituintes da vinhaça através das zonas saturadas e insaturadas, visando também definir a

taxa agronômica de irrigação com vinhaça com a finalidade de preservar a qualidade da água subterrânea. O projeto foi instalado na Usina da Pedra, no Município de Serrana, Estado de São Paulo, localizada no aquífero Botucatu, em área de Latossolo Vermelho-Amarelo. Para tanto, foi colocada uma rede de monitoramento após a caracterização do local consistindo de poços de monitoramento, piezômetros, tensiômetros, pan lisímetros e lisímetros de sucção. O local estudado foi dividido em três áreas: a primeira área recebeu 150 m³/ha de vinhaça, a terceira, 300 m³/ha e a segunda não recebeu vinhaça. Os resultados obtidos permitiram concluir que para irrigações com vinhaça o cloro, o carbono orgânico, amônio e nitrogênio orgânico aparecem como elementos que impõem um risco à qualidade da água subterrânea. A chance de alteração dos níveis de concentração de potássio na água subterrânea é remota, em vista da retenção desse elemento pela zona insaturada, mesmo em solo com baixa capacidade de troca de cátions (CTC). Em tal situação o potássio permanece disponível para ser absorvido pela cana-de-açúcar, reduzindo a probabilidade da zona insaturada para atuar como fonte desse elemento para a água subterrânea, como o observado para o cloro.

De acordo com CRUZ et al. (1991), o trabalho em questão focalizou os efeitos da vinhaça no solo e na água subterrânea numa área de cultura de cana-de-açúcar, na Usina Barra Grande, no Município de Lençóis Paulista, Estado de São Paulo, a qual recebe, anualmente cerca de 300m³/ha vinhaça por aspersão. As amostras foram coletadas do solo, da água subterrânea e de córregos existentes na área. Quatro sub-áreas foram monitoradas separadamente com aplicação de 300 m³/h ano de vinhaça. Os períodos de experimentação em cada área foram de 0, 5, 10 e 15 anos. Na zona não saturada, as amostras foram coletadas à profundidades de 25, 75 e 150 cm. As análises químicas incluíram macro e micro nutrientes, matéria orgânica e pH; as análises físicas, retenção da água do solo, condutividade hidráulica e distribuição das partículas do solo. A tendência para manutenção da fertilidade do solo pode ser observada, mas com uma elevação da concentração de nitrato na água subterrânea.

No que se refere à qualidade das águas das zonas não saturada e saturada, GLOEDEN (1994) observou alterações nos valores dos parâmetros analisados na zona não saturada e para alguns parâmetros na zona saturada após a aplicação de vinhaça em trabalho realizado sobre área de afloramento da Formação Botucatu, submetida à fertirrigação, no município de Serrana, no Estado de São Paulo. A área em questão foi dividida em três, aplicando-se diferentes taxas de vinhaça: 150 e 300 m³/ha. Esse estudo concluiu que a área de

afloramento da Formação Botucatu é muito vulnerável às mudanças nas características naturais de suas águas subterrâneas, causadas, principalmente, pela aplicação de vinhaça. Os resultados obtidos nas análises químicas demonstraram que os parâmetros DQO., cloreto, carbono orgânico, nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio amoniacal e sulfato, atingiram as águas subterrâneas causando alterações nos seus valores naturais, após a aplicação de vinhaça.. Uma vez constatado que efetivamente alcançam a zona saturada alterando suas características naturais de qualidade de água, estas variáveis deveriam ser consideradas na decisão de definição de taxas de aplicação de vinhaça, com o intuito de não alterar as características naturais das águas subterrâneas. O potássio, elemento utilizado normalmente para definir as taxas de aplicação de vinhaça, e o nitrogênio nitrato não alteraram significativamente a qualidade das águas da zona saturada neste estudo.

Os dados citados em POLUIÇÃO (1994) confirmaram através de estudos efetuados, a previsão de poluição da água e do solo por vinhaça infiltrada sob os tanques de armazenamento. Embora as sondagens a trado não tenham propiciado investigações em maiores profundidades, a água coletada e analisada atestou, de modo decisivo, a poluição do aquífero pela vinhaça, o que apenas vem confirmar estudos efetuados por outros pesquisadores.

CENTURIÓN (1994) relacionou os seguintes impactos ambientais causados por uma destilaria de álcool sobre os recursos hídricos:

- Poluição das águas superficiais por meio de efluentes industriais da lavagem de cana, colunas barométricas, vinhaça, lavagem de pisos e equipamentos, águas de resfriamento em geral, lavagem de dornas de fermentação, águas condensadas de evaporadores, esgotos sanitários, má disposição de resíduos sólidos em corpos de água, fuligem derivada da queima da cana nos campos de cultivo e do bagaço nas caldeiras, transportados pelos ventos a grandes distâncias.

- Contaminação das águas superficiais e subterrâneas por pesticidas e adubos, usualmente utilizados nas operações agrícolas.

- Contaminação das águas subterrâneas através da disposição inadequado no solo de efluentes industriais e resíduos sólidos.

- Assoreamento de corpos de água por material proveniente de erosão.

O primeiro e o terceiro item ratificam tudo o que foi escrito anteriormente sobre o potencial poluidor da vinhaça.

SIMABUCO et al (1996) avaliou a concentração de elementos traços, principalmente metais, em amostras de água de percolação e de solução do solo, em solos que receberam vinhaça durante a safra de 1995, na Destilaria São João, em São João da Boa Vista, São Paulo. As análises foram realizadas empregando-se a fluorescência de raios x por dispersão de energia. Baseada na concentração de Fe encontrada em todas as estações coletoras e no Canal Principal, concluiu-se que este elemento percola pelo perfil do solo até 1,5 m de profundidade, indicando uma provável contaminação do lençol freático.

2.4 - Transformações do Nitrogênio no Solo

De todos os poluentes encontrados em efluentes, quer domésticos, industriais ou agroindustriais, talvez o mais problemático seja o nitrogênio, por isso sua dinâmica no solo precisa ser bem compreendida.

REDDY & PATRICK JR. (1980), observaram as perdas ocorridas com a aplicação de nitrogênio amoniacal, uréia e nitrogênio orgânico, em ensaio conduzido em vários tipos de solos submersos. Concluíram que todos os tipos de solos mostraram perdas significativas de nitrogênio amoniacal e uréia aplicados, podendo ser atribuídas aos processos de nitrificação-desnitrificação e volatilização do nitrogênio amoniacal depois da hidrólise da uréia. Em solos que apresentaram alta capacidade de troca de cátions e elevado conteúdo de matéria orgânica houve um decréscimo da perda do nitrogênio aplicado, devido provavelmente à adsorção do nitrogênio amoniacal no complexo de troca de cátions do solo e, também ao processo de imobilização do nitrogênio orgânico. Não observaram perdas apreciáveis quando a esses solos foram incorporados palha de arroz.

Segundo AMARAL SOBRINHO et al. (1983), em estudo realizado em amostras de solo Podzólico Vermelho-Amarelo tratado com doses crescentes de vinhaça (0, 100, 200, 400 e 800 m³/ha), verificou-se que a aplicação de doses crescentes desse efluente em mistura

com nitrato mostrou uma redução no teor de N-NO_3^- , e acúmulo de N-NO_2^- , N-NH_3 e N_2O e N-Orgânico atribuída aos processos de desnitrificação e imobilização. O processo de desnitrificação pode explicar essa redução, devido a estabilização da matéria orgânica da vinhaça, que necessita de uma quantia elevada de O_2 , causando decréscimo do teor desse elemento no solo, além da diminuição do potencial redox do solo. A redução dissimilatória do nitrato a amônia pode ocorrer em solos anaeróbios e ricos em carbono, segundo CASKEY & TIEDJE (1980) apud AMARAL SOBRINHO et al. (1983).

O processo de nitrificação que ocorre no solo apresenta significativa relevância quando da transformação do íon amônio para nitrito e nitrato, resultando em mudança de carga positiva para negativa. Como a fração argila do solo possui carga negativa, os íons de carga positiva são atraídos para a sua superfície. Sendo assim, íons de carga negativa passam para a água do solo, o que significa que o nitrito e o nitrato são lixiviados rapidamente no perfil do solo até atingir o lençol freático. Este é um processo duplamente comprometedor, uma vez que representa uma perda de formas fixadas de nitrogênio que poderiam ser assimiladas pelas plantas e transformadas em biomassa e por se constituir em potencial de poluição das águas subterrâneas, conforme CAZARINI (1989).

A presença de nitrato na água (NO_3^-), acima de $10,0 \text{ mg.L}^{-1}$, conforme recomendado por SÃO PAULO (1990), provoca nas crianças uma doença chamada metahemoglobinemia, também conhecida por síndrome do “bebê azul” ou cianose, devida à coloração azul apresentada pelos lábios dos bebês. Essa doença ocorre raramente em adultos porque o organismo da pessoa adulta possui um sistema redutor de Fe^{3+} da metaemoglobina ao Fe^{2+} da hemoglobina, o que não ocorre com o organismo da criança.

Segundo CRUZ (1991), o amônio aparece nas águas superficiais em concentrações próximas ao valor máximo permissível ($0,5 \text{ mg.L}^{-1}$) e supera este valor na água subterrânea na época da aplicação da vinhaça (março a julho). Embora tenha-se observado lixiviação de nitrogênio, nos experimentos de campo e de laboratório, dos parâmetros de qualidade das águas estudadas, o único que apresenta valores preocupantes, é o amônio. O maior teor deste íon nas águas subterrâneas, em relação às águas superficiais, também pode ser explicado pelo menor teor de oxigênio. Nestas condições, favorece a redução de nitrato a nitrito, ou impede a oxidação deste até nitrato. Deve-se observar que estes teores altos de

amônio ocorreram no período de menor precipitação onde tem-se uma menor diluição da vinhaça.

Em experimento conduzido em solo arenoso com aplicação de nitrogênio mineral e vinhaça, ORLANDO FILHO et al. (1995) concordantemente com AMARAL SOBRINHO et al. (1983) concluíram que até a profundidade de 2 m não ocorreu o deslocamento vertical de N-NO_3^- e NH_4^+ ; conseqüentemente não houve poluição do lençol freático o que pode ser atribuído ao processo de imobilização do nitrogênio.

A Figura 2.2 mostra as transformações do nitrogênio no solo, bem como sua atuação como poluente de águas superficiais e também das águas subterrâneas.

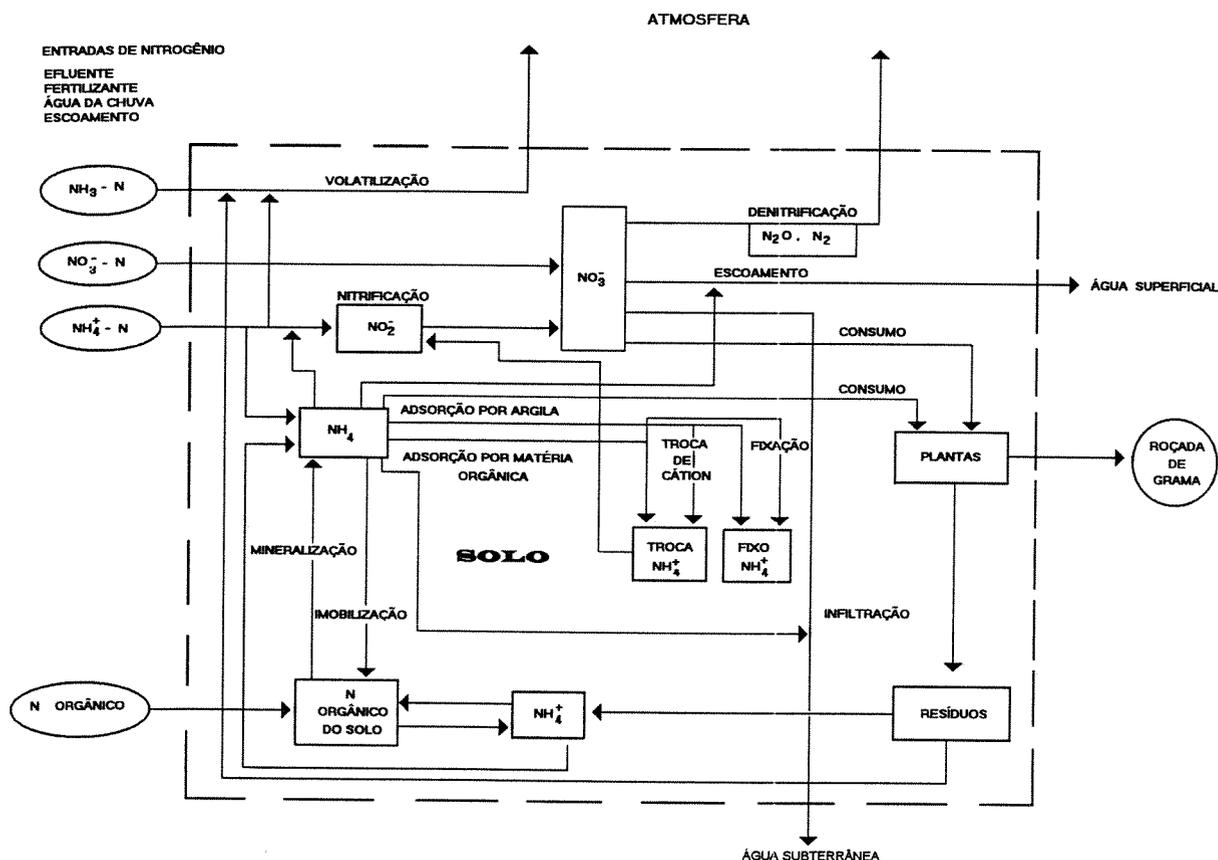


FIGURA 2.2 - Dinâmica do nitrogênio no sistema do solo: mobilidade e transformação.

Fonte: adaptado de VENHUIZEN (1997)

Vários são os processos de transformação pelos quais passa o nitrogênio no solo. Entre eles pode-se citar a amonificação, nitrificação, mineralização, imobilização, desnitrificação, volatilização e adsorção.

O nitrogênio amoniacal, além da imobilização resultante da atividade microbiana pode ser oxidado a nitrito por bactérias do gênero *Nitrosomonas*. Esse processo de transformação é conhecido por nitrificação. O nitrito, então é oxidado a nitrato pelas bactérias do gênero *Nitrobacter*. Essas bactérias são estritamente aeróbias e, se a concentração de oxigênio no solo for deficitária, a oxidação de amônia será muito baixa. Na ausência de oxigênio ocorre produção de formas gasosas de nitrogênio a partir de nitrato e nitrito (desnitrificação).

Na mineralização, o nitrogênio orgânico transforma-se em mineral, geralmente em NH_4^+ . Sua imobilização resulta do processo inverso decorrente da atividade de microrganismos do solo.

2.5 - Tratamento de Efluentes no Solo

Os métodos de tratamento para água residuária no solo devem ser econômicos, requerendo manutenção mínima, apresentando resultados satisfatórios.

De acordo com LOEHR, (1974) a aplicação de efluentes no solo não é uma técnica recente como tratamento nesse meio. A disposição da água servida nesse meio remonta a alguns séculos. A maioria das aplicações no solo foi desenvolvida de acordo com a conveniência ou métodos econômicos para sua disposição. Os efeitos desses métodos no ecossistema, na vida animal e vegetal, as características do solo, a qualidade da água subterrânea, por essa época, começaram a receber a atenção necessária.

Entre os três meios - solo, água e atmosfera - o primeiro é o mais adequado para se tratar efluentes com um mínimo de efeitos ambientais adversos. Esses resíduos sofrem algumas reações e transformações quando de sua aplicação nesse meio. O uso do solo para esse tipo de tratamento é determinado pelas características físicas e químicas que variam de lugar para lugar. O solo é formado por rochas, argilas minerais, matéria orgânica e

microrganismos. Esses componentes vão atuar na decomposição dos resíduos através de reações de oxidação e redução, troca de cátions, adsorção pelas frações minerais e orgânicas. Contribui também para esse processo uma boa drenagem e aeração melhorando o mecanismo de tratamento de solo.

A disposição de resíduos no solo é um método vantajoso, permitindo tratamento primário, secundário e terciário através de operação simples e, contribuindo para o desenvolvimento das culturas. A água é reusada em atividades agrícolas. Apresenta algumas vantagens como a presença de constituintes fertilizantes e condições de solo favoráveis. Entretanto, existem algumas desvantagens associadas ao seu uso, entre as quais são citadas: risco de contaminação de trabalhadores rurais e consumidores pelos produtos agrícolas, possíveis efeitos químicos no solo e na água subterrânea exigência de espaço considerável de terra para a implantação desse método e natureza sazonal de demandas de irrigação. ARCEIVALA (1981)

Em seu trabalho sobre tratamento de efluentes de uma indústria cítrica, pelo método de escoamento superficial no solo, NOUR (1990) sugere o estudo da possível contaminação das águas subterrâneas, através do monitoramento da quantidade de nitrato presente no líquido percolado, em diferentes profundidades.

U.S.E.P.A. (1981) apud FIGUEIREDO et al.(1992) define o tratamento no solo como uma aplicação controlada de uma água residuária na superfície do solo, objetivando-se conseguir uma certa porcentagem de tratamento através de processos biológicos, físicos e químicos, dentro da matriz planta-solo-água.

FIGUEIREDO et al. (1992), pesquisaram o tratamento de efluente líquido cítrico pelo processo de irrigação por aspersão e os resultados obtidos indicaram uma excelente diminuição na DQO, uma neutralização do pH dos efluentes brutos e, uma grande remoção de sólidos, especialmente suspensos. Ainda não existem normas ou padrões específicos a serem seguidos, sendo que as entidades de controle de poluição do meio ambiente ainda estão estudando as normas apropriadas para a disposição de efluentes líquidos no solo. No entanto, para efeito de monitoramento, deve-se observar que o efluente líquido não venha poluir ou contaminar as águas subterrâneas.

2.6 - Considerações Sobre Água Subterrânea

“Embora possamos ver as águas de superfície e porque enormes quantidades de dinheiro têm sido dispendidas em construções visíveis de represas, barragens reservatórios artificiais, aquedutos e canais de irrigação envolvendo águas de superfície, é natural que haja uma tendência em se considerar essas águas como sendo a maior fonte de atendimento de todas as nossas necessidades. Na realidade, menos de 3% da água potável disponível em qualquer momento, em nosso planeta, provém de cursos superficiais e lagos. A outra parte, mais de 97 %, estimada em cerca de 10 quatrilhões de m³ se encontra no subsolo. A água dos lagos e cursos da superfície representa água em trânsito, ao passo que as águas subterrâneas vêm se acumulando de há muitos séculos, com apenas leves acréscimos anuais de volume. Durante um ano, em média, as águas dos cursos superficiais se renovam mais ou menos 31 vezes. O relativamente lento movimento da água infiltrando-se no solo propicia-lhe íntimo e longo contato com os minerais que formam a crosta terrestre e que nela vão se dissolvendo em maior ou menor proporção. Assim, a água subterrânea vai aumentando seu teor de substâncias dissolvidas à medida em que se prossegue no seu movimento, até que entre essas um equilíbrio seja alcançado. Muitos fatores do meio influem nos processos químicos. Os minerais dissolvidos na água subterrânea afetam seus usos específicos. Se uma ou mais substâncias dissolvidas estiverem presentes em quantidade superior à que pode ser tolerada, a água dever ser submetida a um tratamento que as elimine ou as remova, de modo que possa servir para o fim pretendido. A maior parte das águas subterrâneas não contém matéria suspensa e, praticamente, nenhuma bactéria. É, de regra, límpida e incolor. São características que contrastam com as águas de superfície, em geral turbidas e de considerável teor de bactérias. A água subterrânea é, pois, de superior qualidade”. ÁGUA (1974)

Segundo POWER & SCHEPERS (1989), a água subterrânea abastece o suprimento original de água doméstica para mais de 90 % da população rural da América do Norte. Consequentemente, a proteção da água subterrânea é da maior importância. Esse relatório revê o problema de controle de poluição por nitrato da água subterrânea da América do Norte. A acumulação de nitrato na água subterrânea é provavelmente atribuída às diferentes fontes para diferentes regiões. Nas últimas décadas, as áreas sob irrigação e o uso de fertilizantes nitrogenados têm aumentado consideravelmente e ambos têm, provavelmente, contribuído para os problemas do nitrato na água subterrânea.

O Estado de São Paulo responde atualmente por cerca de 70 % da produção nacional de álcool, sendo portanto, detentor de um potencial poluidor (vinhaça e águas de lavagem), incorporando a esta produção o equivalente a 6 vezes a carga de esgotos produzida por sua população. Em muitos casos, a atividade industrial encontra-se desenvolvida sobre áreas de recarga dos principais aquíferos do Estado, segundo estudos conclusivos de SABADIA (1994).

3 - MATERIAL E MÉTODO

3.1 - Local do Experimento

O presente estudo foi desenvolvido na Destilaria São João, pertencente ao Grupo Dedini, localizada no município de São João da Boa Vista, Estado de São Paulo, cuja área é caracterizada por solos tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Orto e Latossolo Vermelho-Amarelo fase arenosa, que são solos de textura média caracterizado por relevo suavemente ondulado. Ocorrem em relevo plano e suave ondulado, podendo com certa frequência, aparecer também em área ondulada e excepcionalmente em forte ondulada, conforme VIEIRA et al (1988). Também apresentam lixiviação intensa, horizontes de difícil separação, permeabilidade elevada, solos profundos e bem drenados e com elevado teor de óxidos de ferro.

A Figura 3.1 indica a localização da destilaria, das estações de monitoramento inclusive o CP_a 1-2 onde eram feitas as coletas na superfície do canal principal, os pontos testemunhas e os canais de irrigação que recebiam vinhaça do canal de transporte.

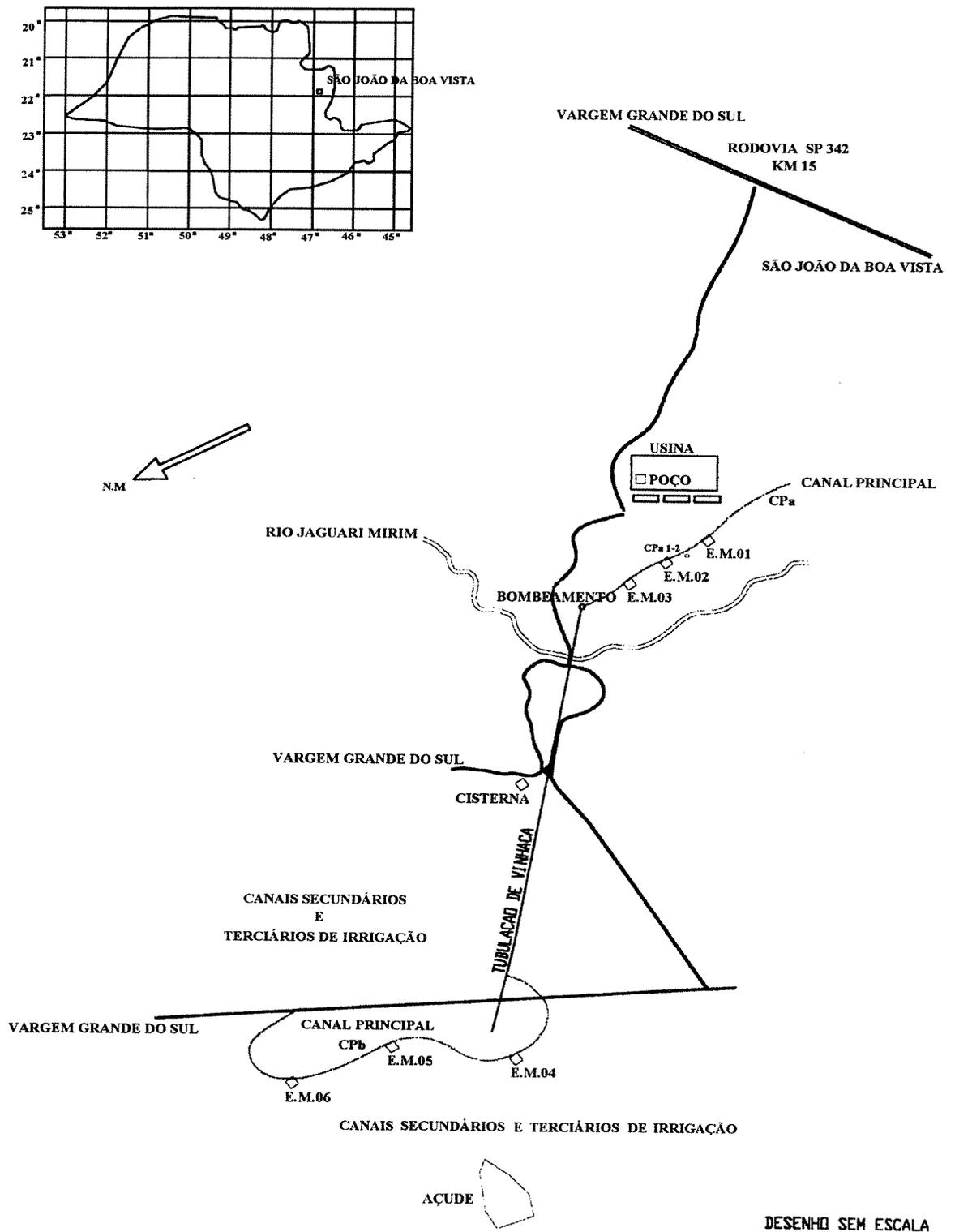


FIGURA 3.1 - Croqui de localização da destilaria, das estações de monitoramento e dos pontos testemunhas: poço, rio, cisterna e açude e dos canais de irrigação: secundários e terciários.

3.2 - Descrição do Sistema de Aplicação de Vinhaça

O sistema de aplicação de vinhaça é constituído pelo canal principal (CP_a) que transporta o efluente para os canais secundários e terciários, que vão utilizá-lo na fertirrigação do canal por meio de conjuntos de aspersão, tipo montagem direta, que consiste basicamente de um conjunto moto-bomba acoplado a um aspersor tipo canhão, montados em chassi com rodas. Esse canal adutor devido à topografia da área continua na cota mais elevada da destilaria (CP_b) para onde o efluente é recalcado para ser distribuído para os canais de irrigação.

3.3 - Estações de Monitoramento

Para a condução do trabalho foram construídas seis Estações de Monitoramento (E.M.), sendo que três no CP_a e as outras três no CP_b. A Figura 3.2 mostra uma das seis trincheiras abertas para a instalação dos coletores, cujas dimensões eram 2,0 x 2,0 x 3,0 m. Na parede superior, onde a escada está apoiada, foram escavadas quatro cavidades até atingir o fundo do canal condutor. Nessas cavidades foram instalados os coletores de amostra.



FIGURA 3.2 - Abertura de trincheira para instalação dos coletores.

Cada Estação de Monitoramento dispunha de dois lisímetros de sucção (sonda) e duas caixas de drenagem livre (CDL), sendo instalados a 0,5 m e 1,5 m abaixo do fundo do canal, como mostra a Figura 3.3.

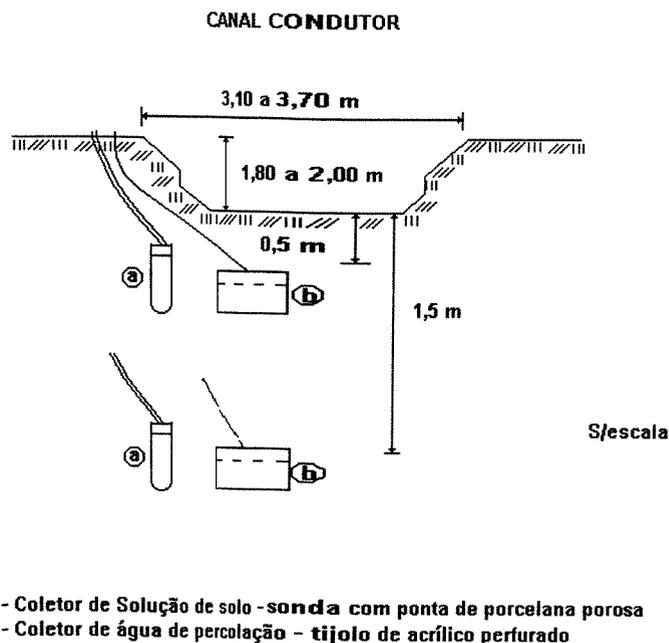


FIGURA 3.3 - Estação de monitoramento evidenciando os coletores

3.3.1 - Coleta de Amostras

As amostras foram também coletadas da superfície dos dois canais. No canal principal (CP_a) as coletas foram feitas em dois pontos denominados CP_a1-2 e CP_a3 porque as águas residuárias do restaurante da destilaria eram lançadas neste canal entre as estações 2 e 3. No CP_b , as coletas limitaram-se a um ponto intermediário entre as Estações 4 e 6.

Além das amostras coletadas nas Estações e na superfície do canal principal foram coletadas também nos pontos testemunhas: um açude, próximo ao CP_b , o rio que se localiza entre o CP_a e CP_b , uma cisterna (9m de profundidade) a jusante do CP_b e um poço (112m de profundidade) a montante do CP_a . Os pontos testemunhas mencionados são mostrados na Figura 3.1.

3.3.2 - Lisímetro de Sucção

Esses coletores foram confeccionadas no Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade Estadual de Campinas. Cada sonda é constituída por uma cápsula de porcelana porosa, com 31,14% de porosidade, medindo 2" de diâmetro e 10,0 cm de comprimento, a qual é colada à extremidade de um tubo PVC. Esse tubo é fechado em sua extremidade superior por uma calota, na qual foram feitos dois furos para a passagem dos tubos de polietileno de 1/4", 160 PSI, sendo que um deles penetra poucos centímetros no tubo de PVC. Nessa montagem foram usadas colas e massas (Araldite, Cola Tigre PVC, Silicone) adequadas para garantir uma boa vedação a fim de impedir a entrada de ar.

Para a proteção da cápsula contra entupimento por colóides e partículas do solo, além de permitir o ótimo transporte da solução do solo foi utilizada areia de rio, sendo a mesma colocada em volta da cápsula porosa. A Figura 3.4. mostra-o detalhadamente.

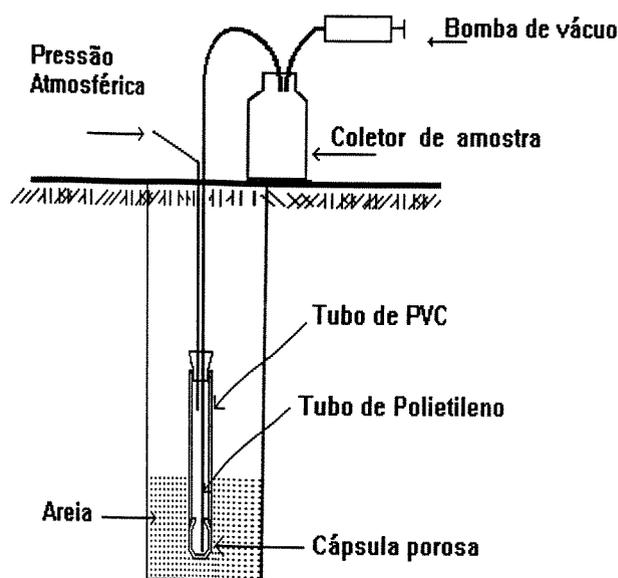


FIGURA 3.4 - Sonda para retirada de amostra de solução do solo

3.3.3 - Caixa de Drenagem Livre

A caixa de drenagem livre que recebeu a água de percolação foi confeccionado em placas de acrílico, com espessura de 5 mm. Suas medidas eram de 20,0 cm x 20,0 cm, com altura de 5,0 cm. Foi feito também um ressalto de 1,0 cm em toda linha perimetral da base superior. Por ela, entra um tubo de polietileno, atingindo aproximadamente 0,5 cm do fundo dos coletores. Por esse tubo a amostra foi retirada por sucção. Sua parte superior foi recoberta com uma manta geotêxtil dentro das medidas descritas acima, evitando entupimento pelas partículas maiores do solo.

A retirada do líquido coletado tanto nas sondas como nas caixas de drenagem livre foi feita mediante a aplicação de vácuo com uma bomba de vácuo portátil, conforme o esquema mostrado na Figura 3.1.

A Figura 3.5 apresenta os dois tipos de coletores utilizados nas estações de monitoramento.



FIGURA 3.5 - Sonda de ponta porosa e caixa de drenagem livre

3.4 - Caracterização do Solo

3.4.1. - Análise Química

As amostras de solo para análise foram retiradas de cada estação de monitoramento nas profundidades de 0,50 m e 1,50 m. Ao todo, foram analisadas doze amostras. Os parâmetros analisados foram: Capacidade de Troca de Cátions, Saturação de Bases, pH, Potássio, Fosfato, Cálcio e Magnésio, Hidrogênio e Matéria Orgânica. Essas análises foram realizadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas.

3.4.2 - Análise Física

Para a análise física foram retiradas amostras correspondentes às duas profundidades (0,5 m e 1,5 m) nas estações de monitoramento, da superfície do canal, de uma área do canal localizado acima do canal mestre e de uma área não cultivada, perfazendo um total de vinte e sete amostras.. Os parâmetros determinados foram os seguintes: Curva Granulométrica, Curva Característica de Retenção de Água no Solo, Densidade Global ou Aparente e Peso Específico Real. As referidas análises foram realizadas no Laboratório de Hidrologia, da Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade Estadual de Campinas.

3.4.2.1 - Determinação da Curva Granulométrica

As amostras foram retiradas das quatro cavidades onde estavam os coletores, nas profundidades de 0,5 m e 1,5 m das estações de monitoramento. Utilizando-se a metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT nº 7181/84, calculou-se as porcentagens de areia, argila e silte.

A estrutura do solo é responsável pela qualidade da água presente no mesmo e pela sua disponibilidade às plantas, através da quantidade e do tamanho maior ou menor de poros. Conforme as porcentagens de areia, argila e silte, os solos foram agrupados em classes texturais para determinação das mesmas, conforme recomenda a Sociedade Brasileira do Solo.

3.4.2.2 - Determinação da Curva Característica de Retenção da Água no Solo

A determinação da curva característica de retenção da água no solo tem por objetivo fornecer dados para a avaliação da altura da água disponível no solo

Para a determinação da Curva Característica de Retenção de Água no Solo utilizou-se um aparelho denominado extrator de Richardas. As amostras previamente saturadas foram colocadas nas placas do referido extrator e submetidas à pressões que variaram entre 0,1 a 15,0 bar, durante 24 horas, sendo então determinada a sua umidade pelo método gravimétrico. Depois da obtenção de um determinado número de pontos (pressão), construiu-se a curva característica que expressa a umidade do solo (%), em relação ao potencial matricial (bar).

3.4.2.3 - Determinação da Densidade Global ou Aparente do Solo

Consiste na relação entre o peso do solo seco e seu volume total, mantida a estrutura do solo nas condições de campo. Esse parâmetro varia com a natureza do solo e seu grau de compactação é fundamental na determinação da lâmina de irrigação. de acordo com a compactação do solo, sendo utilizado em cálculos de irrigação. Para a sua determinação utilizou-se o aparelho de Ulhand, que consiste basicamente de um trado com cilindro de alumínio com volume conhecido (V), conforme metodologia de ABNT - Associação Brasileira de Normas e Técnicas nº 9813/87.

De acordo com KIEHL (1979), as amplitudes das variações das densidades aparentes situam-se dentro dos seguintes limites médios: 1,00 a 1,25 g/cm³ para solos argilosos; 1,25 a 1,40 g/cm³ para solos arenosos ; 0,75 a 1,00 g/cm³ para solos húmiferos e 0,20 a 0,40 g/cm³ para solos turfosos.

3.4.2.4 - Determinação da Densidade Real do Solo

Consiste na relação entre a massa e o volume das partículas do solo seco. Trata-se de um parâmetro praticamente constante variando de 2,3 a 2,9 g/cm³. A metodologia utilizada foi a recomendada pela ABNT - Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

3.5 - Determinação da Altura da Água Disponível no Solo

A determinação desse parâmetro visa obter a porcentagem de água que o solo tem capacidade de reter e a porcentagem desse líquido que está percolando pelo seu perfil. A altura da água disponível no solo é dada pela equação 3.1

$$H = \left(\frac{CC - PM}{10} \right) \times Dg \times h \quad (3.1)$$

onde,

H = altura da água disponível no solo; mm

CC = capacidade de campo; % em relação ao peso seco

PM = ponto de murchamento; % em relação ao peso seco

Dg = densidade global, g/cm³

h = profundidade da estação de monitoramento, cm

De posse das curvas características de retenção de água no solo determinou-se a capacidade de campo a -0,33 bar e o ponto de murchamento a -10,0 bar. Com esses dados e os da densidade global calculou-se a altura da água disponível. Do produto resultante dos valores encontrados para a altura da água disponível e para a área do canal resultou o volume da água armazenada no solo (Vs). A determinação desse parâmetro visa obter a porcentagem de água que o solo tem capacidade de reter e a porcentagem desse líquido que está percolando pelo seu perfil.

3.6 - Percolação da Água no Solo

O volume do canal (V_c) foi obtido pelo produto de sua área molhada por um metro linear. Pela relação entre os dados obtidos para o volume da água armazenada no solo (V_s) e para os obtidos para o volume do canal (V_c) obteve-se a porcentagem de água presente em um metro linear do canal, que fica retida em um metro linear de solo de largura correspondente à do canal. Portanto, subtraindo-se um valor de 100, obteve-se porcentagem de água percolada (P_p). Para a determinação da infiltração (f) adotou-se os valores de 10 e 19 mm/h, respectivamente, para solo de textura franco arenosa e areia franca, segundo GOMES (1994) e os dados referentes à área do canal. Para o de textura areia franca utilizou-se um valor intermediário entre a textura do solo franco arenoso e arenoso dos dados do mesmo autor. Por esses resultados calculou-se o tempo de infiltração (T_f) em hora e dias.

3.7 - Caracterização da Vinhaça

Os parâmetros analisados foram os referentes à DQO, pH e Condutividade Elétrica e Série Nitrogênio (nitrogênio Kjeldahl, amoniacal, nitrato e nitrito). As análises dos três primeiros parâmetros foram feitas observando-se o procedimento padrão ditado pelo APHA (1992). As análises da série nitrogênio foram feitas pelo método Flow Injection Analysis - F.I.A, de acordo com procedimento de FADINI (1995).

As amostras foram coletadas em frascos etiquetados para sua identificação, acondicionados em caixa de isopor com gelo e levadas ao Laboratório de Saneamento, da Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade de Campinas, onde se procedeu à determinação analítica das mesmas, sempre no mesmo dia da coleta.

A série Nitrogênio foi analisada através do método Flow Injection Analysis - FIA. Segundo FADINI (1995) apud OGERA (1995), referido processo pode ser dividido em quatro partes: propulsão dos fluidos, injeção da amostra, reação e detecção. A idéia central do processo é manter em fluxo contínuo e uniforme um fluido carregador, que pode ser inerte ou reativo, e os reagentes, que após um determinado percurso hidráulico são levados até um detector. Por intermédio de um aparato denominado injetor, a amostra é inserida no fluxo

carregador com o qual pode reagir ou simplesmente ser transportada até uma confluência onde encontra um reagente, que em contato com o analito, ocasione a formação de uma espécie química passível de detecção. A propulsão dos fluidos normalmente se dá por intermédio de uma bomba peristáltica equipada com tubos de material polimérico flexível. É importante que a bomba possua torque e número de roletes adequados para a manutenção de um fluxo constante, sem pulsações que possam comprometer a perfeita reprodutibilidade dos intervalos de tempo consumidos entre a inclusão da amostra no fluxo e sua chegada no sistema de detecção. A reação ocorre durante o percurso entre o injetor e o sistema de detecção.

A série Nitrogênio envolveu a análise de amônia, nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico após digestão Kjeldhal. Para a determinação da amônia, sua injeção ocorre juntamente com solução alcalina (NaOH), passando essa mistura por uma célula de difusão. Ao ser liberada, a amônia é coletada por um fluxo de água deionizada, que por sua vez passa por uma célula de condutância. Nitrato e nitrito são determinados depois da redução para amônia em meio alcalino, utilizando-se para tanto, uma coluna com zinco metálico. Adiciona-se ácido sulfanílico para complexação do nitrito, impedindo sua redução a amônia.

A somatória da concentração do nitrogênio na forma orgânica (N_{ORG}) e amoniacal (NH_4^+) de uma amostra, é chamada operacionalmente de nitrogênio Kjeldahl (N_K). A determinação é feita após sua digestão, observando-se o mesmo procedimento para a determinação da amônia.

O nitrogênio total é resultante da somatória do nitrogênio Kjeldahl, nitrogênio Nitrato e nitrogênio Nitrito, dada através da seguinte expressão:

$$N_T = N_K + N_{\text{NO}_2^-} + N_{\text{NO}_3^-}$$

$$N_T = N_{\text{ORG}} + N_{\text{NH}_3} + N_{\text{NO}_2^-} + N_{\text{NO}_3^-}$$

A Figura 3.6 apresenta o esquema do sistema “Flow Injection Analysis”, em confluência única.

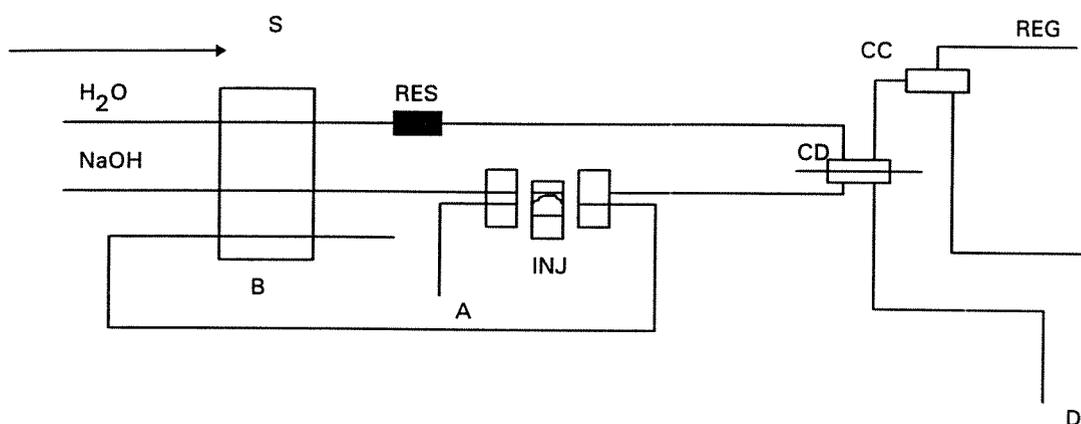
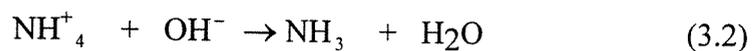


FIGURA 3.6 - Montagem do Sistema F.I.A em Confluência Única

onde:

- B : Bomba peristáltica
- S : Sentido de rotação da bomba peristáltica
- A : Captação da amostra
- INJ : Injetor de amostra
- RES : Coluna contendo resina mista de troca iônica
- CD : Célula de difusão de gás
- CC : Célula de condutividade
- REG : Registrador potenciométrico
- D : Descarte

A montagem desse equipamento baseia-se na passagem das formas de íon amônio à gás amônio em meio básico, conforme ilustra a equação 3.2



Os equipamentos e os reagentes utilizados foram os seguintes:

- bomba peristáltica; coluna com resina para troca iônica; microválvula com três caminhos; injetor; coluna com zinco; célula de difusão da amônia; célula de condutividade condutivímetro; registrador; tubos de polietileno; teflon (PTFE comercial);

- solução de Hidróxido de Sódio 0,2M e 1,0% EDTA; solução de Hidróxido de Sódio 3,0M e 1% EDTA; solução padrão de amônia e nitrato em concentração igual a 1000mg/l obtidas de reagente analítico de sulfato de amônio e nitrato de potássio, respectivamente; zinco metálico e sulfato de cobre (CuSO_4).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises dos dados deste trabalho, com exceção daqueles referentes ao pH e a Condutividade Elétrica, foram baseadas no cálculo do grau de remoção (R) dos parâmetros estudados, que compreende o teor do elemento analisado do efluente coletado nos canais com o afluente proveniente dos coletores, determinando-se, a seguir, a remoção em porcentagem. A remoção foi calculada utilizando-se a equação (4.1):

$$R (\%) = \frac{Na - Nb}{Na} \times 100 \quad (4.1)$$

sendo Na e Nb os teores em comparação, que podem ser: a) Efluente e Sonda de 0,5 m (Rs); b) Efluente e Sonda de 1,5 m (Rs₁); c) Efluente e CDL - Caixa de Drenagem Livre - de 0,5 m (Rc); d) Efluente e CDL de 1,5 m; (Rc₁); e) Sonda de 0,5 m e Sonda de 1,5 m (Ra); f) CDL de 0,5 m e CDL de 1,5 m (Rb); g) Sonda de 0,5 m e CDL de 0,5 m - coletores 0,5 m - (Rc) e h) Sonda de 0,5 m e CDL de 0,5 m - coletores 1,5 m - (Rd).

Os problemas ocorridos com o experimento no campo, ao longo das safras 95/96, refletiram-se em dificuldades traduzidas pelos baixos volumes de amostras e na ausência das mesmas em alguns coletores, apesar das trocas das sondas de ponta porosa e da retirada, manutenção e reinstalação das caixas de drenagem livre. Os resultados dos parâmetros obtidos nos ensaios analíticos mostram a consequência dessas dificuldades.

O canal condutor, onde foram instaladas as Estações de Monitoramento, transporta vinhaça há aproximadamente 13 anos, o que significa que durante todo esse tempo o efluente infiltrou-se no solo acarretando, provavelmente, sua saturação e colmatação, dificultando a absorção das amostras pelos coletores. Tal circunstância pode ser observada na Estação de Monitoramento 03, que não forneceu nenhuma amostra durante toda a fase de

coleta, ao ser reaberta após a safra 95/96 seus coletores estavam intactos, praticamente novos como se tivessem sido instalados na véspera.

Os espaços em branco constantes das Tabelas significam que não houve volume suficiente de amostras para a realização do procedimento analítico.

4.1 - Característica Química da Vinhaça

4.1.1 - pH

Os dados obtidos indicam que houve um aumento dos valores de pH no efluente permeado no solo seguido de uma estabilização, o que pode ser constatado observando-se as Tabelas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

TABELA 4.1- Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01 e na superfície do Canal Principal.

pH					
Estação de Monitoramento 01					
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL 0,5 m	CDL 1,5 m
13.06.96	5			7	7
24.07.95	5			8	
28.08.95	5			8	
16.10.05	5	7			
01.07.96	5	7		7	7
31.07.96	4	8			7
26.08.96	5				
30.09.96	5				
25.11.96	5				
16.12.96	5				
M	5	7		7	7
DP	0,3	0,6		0,6	0

TABELA 4.2- Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02 e na superfície do Canal Principal.

pH					
Estação de Monitoramento 02					
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL 0,5 m	CDL 1,5 m
16.10.05	5	8		7	7
01.07.96	5	6		6	7
31.07.96	4	7		7	
26.08.96	5	8			
21.10.96	5	7		7	
25.11.96	5	8		7	7
16.12.96	5	8			
28.01.97	5	7		7	7
M	5	7		7	7
DP	0,4	0,7		0,4	0

TABELA 4.3 - Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04 e na superfície do Canal Principal.

pH					
Estação de Monitoramento 04					
Data	CP _b	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL 0,5 m	CDL 1,5 m
28.08.95	5	5		8	
24.10.95	6			7	
16.01.96	5	8	8	7	
01.07.96	5	5			7
31.07.96	5	5			
26.08.96	5	6			7
30.09.96	5	7			
M	5	6		7	7
DP	0,4	1,3		0,6	0

TABELA 4.4 - Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05 e na superfície do Canal Principal.

pH					
Estação de Monitoramento 05					
Data	CP _b	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL 0,5 m	CDL 1,5 m
27.07.95	5			5	5
28.08.95	5			7	
31.07.96	5	5	6		
26.08.96	5	6	8		
30.09.96	5	7			
21.10.96	5	7	8		
25.11.96	5	8	8		7
16.12.96	6	7	7		
28.01.97	**		7		7
24.02.97	**		8		7
24.03.97	**		7		7
M	5	7	7	6	7
DP	0,4	1	0,8	1,4	0,9

Obs.: ** Entressaфра

TABELA 4.5 - Valores de pH das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06 e na superfície do Canal Principal.

PH					
Estação de Monitoramento 06					
Data	CP _b	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL 0,5 m	CDL 1,5 m
13.06.95	5			5	6
28.08.95	5		8	5	7
24.10.95	6	7		6	
12.12.95	**	8	8	7	
16.01.96	**	7	8	7	
31.07.96	5	6	5		
26.08.96	5	6	5		
30.09.96	5	7	6		
21.10.96	5		6		
25.11.96	5	8	7		
16.12.96	6	8	8		
28.01.97	**	7	7		
24.02.97	**	7	7		
24.03.97	**	7	7		
M	5	7	7	6	6
DP	0,4	1	1,3	1	0,6

Obs.: ** Entressaфра

Provavelmente, nessa pesquisa, o solo abaixo do canal encontra-se em condições de anaerobiose devido ao volume de vinhaça percolada pelo perfil do solo, sendo que esse volume ultrapassa a capacidade de retenção de água no solo, durante toda a safra. Isso explica a elevação nos valores desse parâmetro e essa conclusão está de acordo com os resultados obtidos por NUNES et al. (1981), LEAL et al. (1983), e CAMARGO et al. (1983), que encontraram o mesmo resultado em trabalhos sobre aplicação de vinhaça no solo.

No caso de situações aeróbias como a aplicação de vinhaça em canavial, autores como MATTIAZZO & GLÓRIA (1987), confirmam, em estudo realizado sobre a acidez do solo tratado com vinhaça, que a oxidação da matéria orgânica é responsável por esse resultado e a atividade microbiológica é responsável pela oxidação. Portanto, a atividade microbiana é necessária para o aumento do pH.

Os valores dessa variável encontram-se dentro dos padrões de potabilidade determinados por SÃO PAULO, 1990 que variam de 6,5 a 8,5.

4.1.2 - Demanda Química de Oxigênio - DQO

Comparando-se os dados obtidos entre o efluente bruto do canal e o afluente coletado nas profundidades de 0,5 m e 1,5 m, observa-se a ocorrência de remoção, cujos valores são constantes das Tabelas 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10.

TABELA 4.6 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

DQO													
Estação de Monitoramento 01													
Data	Cp _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
28.08.95	7680					3680	52						
16.10.95	9239	6220	33	3010	67					52			
01.07.96	11,8*	1721	90			572	95	1363	88		-138	67	
31.07.96	12,1*	1332	89					1520	87				
26.08.96	10,2*			1356	87								
M	10,2*	3091	71	2183	77	2126	74	1442	86				
DP	1835	2717	33	1170	38	2198	30	111	1				

Obs.: * 10⁻²

TABELA 4.7 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

DQO													
Estação de Monitoramento 02													
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.07.95	13,1*					3072	76	1693	87		45		
16.10.95	9239	2947	68			4708	49	2604	72		45	37	
01.07.96	11,8*	3151	73			3124	73	1581	87		49	1	
31.07.96	12,2*	5217	57			6464	47					-24	
26.08.96	10,2*	3394	67										
30.09.96	8965	5456	39										
21.10.96	9111	5180	43			5464	40					-5	
25.11.96	9612	5055	47			3536	63	1594	83		55	30	
16.12.96	7981	4808	40										
28.01.97	**	4300				4720		1118			76	-10	
24.02.97	**	3756				4212		828			80	-11	
M	10,2*	4326	54			4538	58	1570	83		58	10	
DP	17*	945	14			1217	15	607	7		16	20	

Obs.: * 10⁻²

** Entressaфра

TABELA 4.8 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

DQO													
Estação de Monitoramento 04													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.07.95	6477			2640	59	1188	82						
28.08.95	8336	7104	15			4480	46					37	
24.10.95	4620	1132	75	1041	77	4223	9			8		-273	
01.07.96	7661	4849	37			1253	84	4680	39		-274	74	
31.07.96	9329	6105	35										
26.08.96	7245	6394	13			504	93						
30.09.96	6156	6736	16										
21.10.96	7860	6608	16										
25.11.96	7089	6195	13					4252	40				
M	7261	5640	28	1841	68	2786	63	3145	57			-54	
DP	1333	1939	22	1131	13	1811	21	2297	301			191	

TABELA 4.9 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

DQO													
Estação de Monitoramento 05													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.07.95	6477					2378	63	3073	53		-29		
28.08.95	8336					6800	18						
31.07.96	9329	6749	28	7437	20					-10			
26.08.96	7245	6250	14	4480	38					28			
30.09.96	6156	5834	5										
21.10.96	7860	6108	22	7160	9			3376	52	-17			53
25.11.96	7089	6195	13	6735	5					-9			
16.12.96	6565	5808	12	6602	-99					-14			
28.01.97	**			5958				1376					77
24.02.07	**			3637				1461					60
24.03.97	**			2268				834					63
M	7555	6157	16	6001	-5	4185	41	1686	53	-4			66
DP	1025	343	8	1426	54	2319	32	965	0,7	19			9

Obs.: ** Entressafra

TABELA 4.10 - Valores de DQO das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06 e na superfície do Canal Principal, sendo a Concentração (c) em mg.L^{-1} , e Remoção (R) em porcentagem.

DQO													
Estação de Monitoramento 06													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.07.95	6477					3680	43	4324	33		-18		
28.08.95	8336	6992	16	1550	81	7152	14	6912	17	78	3	-2	-346
24.10.95	4620	3960	14			4444	4	1496	68		66	-12	
12.12.95	**	3802		2358		1514		1091		38	39	60	54
16.01.96	**	1604		1452		1908				9		-19	
13.02.96	**	900		1200		2400		1680		-33	30	-167	-40
31.07.96	9329	6505	30	7393	21					-14			
26.08.96	7245	6360	12	85	-18					-34			
30.09.96	6156	7584	-23	7114	-16					6			
21.10.96	7860			7080	9,92								
16.12.96	6565	5405	18	6223	5					-15			
24.02.07	**	3124		2842						9			
M	6529	4270	6	4455	14	2854	20	2854	39	7	24	95	-111
DP	1454	2307	19	2930	36	2483	20	2482	26	37		8334	209

Obs.: ** Entressafra

Analisando-se as médias das remoções das Tabelas 4.6 a 4.10, nota-se que a remoção média de DQO foi maior na profundidade 1,5 m, o que indica que o processo de decomposição da matéria orgânica ocorreu com maior eficiência nesta profundidade, comparando-se com as médias dos dados obtidos entre o afluente coletado na profundidade de 0,5 m e o afluente coletado na profundidade de 1,5 m e também pode ter ocorrido a retenção de material particulado no solo. Portanto a concentração dessa variável sofreu um decréscimo no solo.

As exceções ocorridas foram na Tabela 4.9, observadas nos valores médios da remoção mostrada pela sonda de 1,5 m e da remoção ocorrida entre as sondas de 0,5 m e 1,5 m, podendo ser creditadas a erro analítico.

A remoção média da demanda química de oxigênio foi, na maioria dos casos, positiva, variando de 6% a 83%, o que significa que a remoção da matéria orgânica ocorreu realmente, em relação aos outros parâmetros.

Com a aplicação de vinhaça ocorre inicialmente um aumento da atividade microbiana do solo, que promove um consumo elevado de oxigênio, para em seguida

acontecer um favorecimento de processos anaeróbios de degradação da matéria orgânica. Isso pode ser atribuído ao emprego de doses excessivas de vinhaça que ultrapassam a capacidade de reoxigenação do solo, como pode estar acontecendo no caso em estudo, uma vez que a maior parte da vinhaça gerada na destilaria é lançada no canal de transporte. Conforme já foi comprovado por CENTURIÓN et al. (1981).

4.1.3 - Condutividade Elétrica

Os valores de condutividade elétrica podem ser observados nas Tabelas 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15.

TABELA 4.11 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01 e na superfície do Canal Principal.

Condutividade Elétrica					
Estação de Monitoramento 01					
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL0,5 m	CDL 1,5 m
13.06.95	**			3550	2180
24.07.95	2450			4060	
28.08.95	4510			3760	
16.10.95	1720	3320			
12.12.95	**				
13.02.96	**		2832		4349
01.07.96	3629	2173		1876	1322
31.07.96	3413	3049			2252
M	3144	2847		3312	2526
DP	1082	600		980	1287

Obs.: ** Entressafra

TABELA 4.12 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02 e na superfície do Canal Principal.

Condutividade Elétrica					
Estação de Monitoramento 02					
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL 0,5 m	CDL 1,5 m
13.06.95	**			3600	4330
16.10.95	1720	3470		3370	3080
01.07.96	3629	2675		2809	2235
31.07.96	3413	2528		2129	
26.08.96	3306	2809			
30.09.96	4219	2849			
21.10.96	4559	2923		3562	
25.11.96	4028	2994		3593	3468
16.12.96	3960	2861			
28.01.97	**	2462		3370	3140
M	3604	2889		3205	3251
DP	868	276		548	756

Obs.: ** Entressaфра

TABELA 4.13 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04 e na superfície do Canal Principal.

Condutividade Elétrica					
Estação de Monitoramento 04					
Data	CP _b	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL 0,5 m	CDL 1,5 m
13.06.95	**			3570	4280
28.08.95	4580	5200		4400	
24.10.95	2710		4550		
12.12.95	**		6610		
01.07.96	3352	2511			3711
31.07.96	3101	2937			
26.08.96	3306	2809			3855
30.09.96	4868	2849			
M	3653	3819	7282	3985	3949
DP	865	1682	3863	587	296

Obs.: ** Entressaфра

TABELA 4.14 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05 e na superfície do Canal Principal.

Condutividade Elétrica					
Estação de Monitoramento 05					
Data	CP _b	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL 0,5 m	CDL 1,5 m
24.07.95	3130			4740	4400
28.08.95	4580			6500	
01.07.96	3352	2762			
31.07.96	3101	2944	2863		
26.08.96	3306	3353	3894		
30.09.96	4868	3017			
21.10.96	5567	3529	3488		
25.11.96	4844	3552	3552		
16.12.96	4260	4080	3346		
28.01.97	**		3567		3861
24.02.97	**		3603		3729
24.03.97	**		2238		3500
M	4112	3320	3319	5620	3919
DP	914	451	525	1245	347

Obs.: ** Entressafra

TABELA 4.15 - Valores de Condutividade Elétrica das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06 e na superfície do Canal Principal.

Condutividade Elétrica					
Estação de Monitoramento 06					
Data	CP _b	Sd 0,5 m	Sd 1,5 m	CDL 0,5 m	CDL 1,5 m
24.07.95	3130			3680	4324
28.08.95	4580	600	3530	5520	5520
24.10.95	2710	5000		5500	
12.12.95	**	6113	6987		
16.01.96	**	2360	3310	2320	
13.02.96	**	1841	2647	1777	2684
01.07.96	3352	2129	2998		
31.07.96	3101	2129	2998		
26.08.96	3306	3500	4288		
30.09.96	4868	3352	3268		
21.10.96	5567		3497		
25.11.96	4844	3101	3842		
16.12.96	4260	3132	3647		
28.01.97	**	3282	3104		
24.02.97	**	3084	2259		
24.03.97	**	2506	2344		
M	3972	3013	3806	4405	4176
DP	969	1602	1439	2018	1424

Comparando-se os valores médios do CP_a 1-2 com os dos coletores, com exceção da caixa de drenagem livre de 0,5m, na Tabela 4.11, nota-se que os primeiros são maiores. O mesmo ocorre na Tabela 4.12, na Tabela 4.14, salvo a caixa de 0,5 m e na Tabela 4.15, exceto as caixas 0,5 e 1,5 m. Já na Tabela 4.13, os valores médios foram maiores em todo os coletores.

O aumento nos teores dessa variável em função da aplicação de doses crescentes de vinhaça, foram verificados por RANZANI (1956), REZENDE (1979) & ROSSIELO et al. (1981). Além disso, outros íons podem resultar do processo de degradação da matéria orgânica contida na vinhaça, resultando numa maior condutividade elétrica.

De acordo com os valores mostrados pelas Tabelas 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15, observa-se que a maioria deles, com exceção do valor apresentado pela sonda de 0,5 m da Estação de Monitoramento 06, da Tabela 4.15, está acima 1312 mS/cm, indicando ser um solo com alta concentração iônica, acima do valor mínimo apresentado por AYERS & WESTCOT

WESTCOT (1985). Isso pode contribuir para alterar a qualidade da água subterrânea, levando-se em consideração a mobilidade desses íons e altura do lençol freático.

Com a infiltração de vinhaça no solo, suas condições de salinidade podem ser afetadas e interferir nos processos bioquímicos, principalmente por mecanismos ligados à osmose, ou seja, dependendo da concentração de sais no solo e no interior das células vegetais e microbianas. Se a concentração salina for maior no solo poderá ocorrer migração da água do interior das células, através da membrana semipermeável para o solo, provocando uma alteração nos processos bioquímicos da mesma e, em alguns casos, até de forma irreversível.

4.1.4-Nitrogênio Total

Essa espécie de nitrogênio é resultante da somatória do nitrogênio Kjeldahl (NK) com o nitrogênio nitrato ($N-NO_3$).

Pode-se observar que nas Tabelas 4.16, 4.17 e 4.18, em relação ao efluente dos canais e o afluente dos coletores, com exceção da caixa de drenagem livre de 0,5 m e 1,5 m da Estação de Monitoramento 05, da Tabela 4.19 e da sonda de 1,5 m da Estação 06, Tabela 4.20 as remoções médias calculadas são negativas, ou seja, significam que há um acréscimo desse elemento no solo. Enquanto que nos coletores mencionados a remoção foi positiva.

Comparando-se as sondas da Estação de Monitoramento 05 e 06, nas Tabelas 4.19 e 4.20, as remoções foram negativas. Quanto à remoção média entre as caixas, apenas a da Estação de Monitoramento 05 foi negativa. Entre os coletores de mesma profundidade, os de 0,5 m (Rc) apresentaram remoção média negativa, excluindo o da Estação 06. Na profundidade de 1,5 m (Rd), as médias das remoções foram positivas.

TABELA 4.16 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

		Nitrogênio Total											
		Estação de Monitoramento 01											
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
16.10.95	315	699	-121										
12.12.95	**	383		301		481				21		-26	
13.02.96	**			477				1066					-123
31.07.96	ND	331						206					
26.08.96	81			220	-160								
30.09.96	144	372	-158										
21.10.96	280	376	-34										
25.11.96	399	434	-9			440	-13	409	-3		9	-3	
M	244	433	-16	333		465		560				-15	
DP	129	135	115	131		23		450				16	

Obs.: ** Entressaфра

ND - Não Detectado

TABELA 4.17 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

		Nitrogênio Total											
		Estação de Monitoramento 02											
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
16.10.95	315	812	-158										
31.07.96	ND	176				195						-11	
26.08.96	81	292	-260	243	-200	321	-296	179	-121	14	44	-10	26
30.09.96	144	370	-157										
21.10.96	280	499	-78	337	-20	343	-23	216	23	32	37	31	36
25.11.96	399	401	-1	360	10			256	36	10			29
16.12.96	349	397	-14										
28.01.97	**					182		201			-10		
24.02.97	**	211				283		176			38	-34	
M	261	421	-111	313	-70	265	-160	206	-21	19	27	-6	30
DP	123	200	99	62	114	73	193	33	87	12	25	27	5

Obs.: ** Entressaфра

ND - Não Detectado

TABELA 4.18 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Total													
Estação de Monitoramento 04													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.10.95	201	311	-55										
26.08.96	104	297	-186	266	-156	314	-202	162	-56	10	48	-6	39
30.09.96	818	252	69										
21.10.96	358	292	18	377	-5	379	-6	281	22	-29	26	-30	25
25.11.96	540	317	41	257	52					19			
16.12.96	521	309	41										
M	468	280	-12	304	-36	311	-104	318	-17	0	37	-18	33
DP	262	124	96	79	107	54	139	82	55	26	16	17	9

TABELA 4.19 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Total													
Estação de Monitoramento 05													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
31.07.96	ND	147		177						-20			
26.08.96	104	244	-135	286	-175					-17			
30.09.96	818	129	84			273	67	265	68		3	-112	
21.10.96	358	361	-1	301	16					17			
25.11.96	540	414	23	396	27	349	35	412	24	4	18	16	-4
16.12.96	521	385	26	381	27					1			
M	468	280	-0,6	304	-27	311	51	318	46	-3	-8	-48	
DP	262	124	81	79	99	54	23	82	31	15	15	91	

Obs.: ND - Não Detectado

TABELA 4.20 - Valores de Nitrogênio Total das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Total													
Estação de Monitoramento 06													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.10.95	201	243	-21			190	5					22	
12.12.95	**	448		437						2			
16.01.96	**	1341		1285						4			
13.02.96	**	235		300		231		292		-28	-24	2	3
31.07.96	ND	146		177						-23			
26.08.96	104	264	-154	252	-142	262	-152	214	-106	4,55	18	1	15
30.09.96	818	272	67	239	71					12			
21.10.96	358			378	-6								
25.11.96	540	389	28	413	76	341	37	320	41	-6	6	12	23
16.12.96	521	382	27	393	25					-3			
28.01.97	**	277		296						-7			
M	424	421	-11	438	5	256	-37	275	-88	-5	0	9	14
DP	259	416	86	383	89	64	101	55	104	13	22	10	10

Obs.: ** Entressafra

ND - Não Detectado

4.1.5 - Nitrogênio Kjeldahl

A somatória da concentração do nitrogênio na forma orgânica (N_{ORG}) com amônia (NH₃) de uma amostra é chamada operacionalmente de nitrogênio Kjeldahl (N_K), portanto, conhecendo-se NH₃ indiretamente calcula-se o N_{ORG}, e vice-versa, segundo PASQUINI & FARIA (1987).

Pelas remoções médias negativas constantes das Tabelas 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25 nota-se que elas ocorreram na maioria das sondas e caixas de drenagem livre. Portanto, a concentração dessa espécie de nitrogênio foi maior nos coletores, em relação à concentração da vinhaça no canal. O mesmo aconteceu com os coletores do mesmo tipo (Ra e Rb) e, os coletores de mesma profundidade (Rc e Rd).

Esse resultado pode ser decorrente da transformação do nitrogênio orgânico (N_{ORG}) em amoniacal (NH_3), processo conhecido por amonificação. Como o conteúdo de matéria orgânica da vinhaça é elevado, ocorre durante sua decomposição uma atividade microbiana intensa, sendo a mesma, provavelmente, responsável pelo processo de amonificação.

Em média, esses dados comprovam que houve degradação da matéria orgânica, o que pode ser corroborado pelos valores apresentados pelas Tabelas 4. 21, 4.22, 4.23, 4.24 e 4.25, referentes ao parâmetro DQO.

TABELA 4.21 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L^{-1} , e Remoção (R) em porcentagem.

		Nitrogênio Kjeldahl											
		Estação de Monitoramento 01											
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
16.10.95	293	654	-123										
12.12.95	**	207		207		476		207		0	57	-130	0
13.02.96	**			132				208					37
31.07.96	198	293	-48					182	8				
26.08.96	213			187	12								
30.09.96	161	332	-106										
21.10.96	275	345	-25			387	-41					11	
25.11.96	394	393	0,3			398	-1	363	8		8	1	
M	256	371	-60	175		420	-21	240	8		33	-39	19
DP	84	152	53	39		49	28	83	0		35	79	26

Obs.: ** Entressafra

TABELA 4.22 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L^{-1} , e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Kjeldahl													
Estação de Monitoramento 02													
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
16.10.95	293					565	-93						
31.07.96	198	148	25			187	6	182	8		3	-26	
26.08.96	213	263	-23	221	16	290	-36	155	27	16	47	-10	30
30.09.96	161	336	-109										
21.10.96	275	467	-70	314	-14	302	-10	189	31	33	37	35	40
25.11.96	394	374	5	338	14	375	5	231	41	10	38	-0,3	32
16.12.96	331	368	-10										
28.01.97	**	226				163		188			-15	28	
M	266	312	-30	291	-1	314	-26	189	27	20	22	5	34
DP	82	107	50	62	14	146	67	27	14	12	27	26	5

Obs.: ** Entressafra

TABELA 4.23 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L^{-1} , e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Kjeldahl													
Estação de Monitoramento 04													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
28.08.95	145	255	-76			162	-12			36			
24.10.95	172	290	-69					172	0				
31.07.96	277	185	33	111	60					40			
26.08.96	244	276	-13	247	-1	281	-15	132	46	11	53	2	47
30.09.96	263	230	13										
21.10.96	383	268	30	353	-32	313	18	249	35	-32	20	-17	29
25.11.96	534	295	45	239	55					19			
16.12.96	498	284	43										
M	315	260	1	238	21	252	-3	184	27	10	37	7	38
DP	144	37	49	99	45	80	18	59	24	37	23	27	13

TABELA 4.24 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Kjeldahl													
Estação de Monitoramento 05													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
28.08.95	145					147	-1						
24.10.95	172					178	-3						
31.07.96	277	129	53	163	41	193	30			-26		33	
26.08.96	244	226	7	267	-9					-18			
30.09.96	263	230	13	248	6	247	6			-8		-7	
21.10.96	383	340	11	282	26					17			
25.11.96	534	392	27	377	29	323	40	392	27	4	-21	18	-4
16.12.96	498	365	54	362	27					1			
28.01.97	**			269				263					2
24.02.97	**			198				194					2
24.03.97	**			102				161					-58
M	315	280	28	271	20	218	14	253		-5		14	-14
DP	144	102	21	73	18	69	20	102		16		23	29

Obs.: ** Entressafra

TABELA 4.25 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Kjeldahl													
Estação de Monitoramento 06													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
28.08.95	145	177	-22			206	-42	136	6			-16	
24.10.95	172	212	-23			182	-6					14	
12.12.95	**	414		414				794		0			-92
16.01.96	**	1118		1253						-12			
13.02.96	**	476		107		595		62		78	90	-25	42
31.07.96	277			165	40								
26.08.96	244	132	46	237	3	240	2	198	19	-80	18	-82	16
30.09.96	263	249	5	224	15					10			
21.10.96	383	254	34	361	6					-42			
25.11.96	534			396	26	315	41	302	43		20		24
16.12.96	498	372	25	376	25					-1			
28.01.97	**	363		284						22			
24.02.97	**	205		197						4			
24.03.97	**	184		152						17			
M	315	379	11	395	13	308	-15	298	23	1	41	-27	-2
DP	144	320	29	364	17	168	23	291	19	51	38	21	61

Obs.: ** Entressafra

4.1.6 - Nitrogênio Amoniacal

Observando-se as Tabelas 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 e 4.30 pode-se notar que as remoções médias negativas ocorreram nas sondas e caixas de drenagem livre, em todas as Estações de Monitoramento, variando, em média de $-1,1 \times 10^{-2} \%$ a -167% . O acréscimo desse elemento no solo pode ser creditado a sua adsorção pela fração argila do solo e também à redução dissimilatória do nitrato a amônia que ocorre em solos em condições anaeróbias e ricos em matéria orgânica. Além disso, em solos anaeróbios a amônia é um dos produtos finais.

Os resultados obtidos encontram respaldo em AMARAL SOBRINHO et al. (1983) e em CASKEY & TIEDJE (1980), que trabalharam com doses crescentes de vinhaça em solo Podzólico Vermelho-Amarelo.

As remoções médias entre as sondas foram positivas, com exceção da Ra da Tabela 4.30, e entre as caixas (Rb) ocorreu o contrário, as remoções foram positivas em todas as Estações, salvo a Rb da Estação 01, da Tabela 4.26. As colunas Rc e Rd das Estações de Monitoramento mostram remoções médias negativas.

TABELA 4.26 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

		Nitrogênio Amoniacal											
		Estação de Monitoramento 01											
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
28.08.95	14					67	-379	49	-250	27			
16.10.95	47	137	-191	80	-70					42			
12.12.95	**	167		121		320		181		28	43	-92	-50
13.02.96	**			89				127					-43
01.07.96	10	195	-1,9 *			183	-1,7 *	133	-1,2 *		27	6	
31.07.96	14	193	-1,3 *					136	-871	43			
26.08.96	18			111	-517			245	-1,3 *				-121
30.09.96	21	210	-900										
21.10.96	39			123	-215	210	-438						
25.11.96	47	198	-321			153	-226	148	-215		3	23	
M	26	183	-922	105	-267	187	-693	146	-765	35	29	-21	-71
DP	16	27	706	19	228	92	697	59	510	10	16	62	43

Obs.: * 10⁻²

** Entressafra

TABELA 4.27 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Amoniacal													
Estação de Monitoramento 02													
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
28.08.95	14					39	-179	72	-414		-85		
16.10.95	47	122	-160	83	-77					32			
12.12.95	**	73						181					
13.02.96	**	87		86		66		72		1	-10	24	16
01.07.96	10	110	-1,0 *			227	-2,1 *	279	-2,70 *		-229	-106	
31.07.96	14	121	-764			163	-1,1 *					-35	
26.08.96	18			71	-294	224	-1,1 *						
30.09.96	21	21		144	-586								
21.10.96	39	141	-262	115	-195	132	-238			12		6	
25.11.96	47	144	-206	129	-174	153	-226	237	-404	10	55	-6	-84
16.12.96	41	140	-241										
28.01.97	**	92				132		127			4	-38	
M	28	120	-409	97	-265	140	-837	140	-1,1 *	15	-60	-28	-34
DP	15	26	327	24	195	63	786	84	1,3*	13	91	43	71

Obs. : * 10⁻²

** Entressaфра

TABELA 4.28 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L^{-1} , e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Amoniacal													
Estação de Monitoramento 04													
		Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
Data	CP _b	c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
13.06.95	16					53	-231	44	-175		17		
24.07.95	35							41	-17,				
28.08.95	27	63	-133	56	-10					11			
24.10.95	157	195	-24			212	-35	144	8		32	8	
12.12.95	**	246		246						0			
13.02.96	**			64		121		119			2		-86
01.07.96	17	85	-400					570	-3,3 *				
31.07.96	26	120	-362	96	-269					20			
26.08.96	15	128	-753	122	-713	239	-1,5 *	113	-653	5	53	-87	8
30.09.96	66	133	-102										
21.10.96	84	132	-57	135	-61	238	-183	125	-49	-2	48	-80	7
25.11.96	111	134	-21	134	-21					0			
16.12.96	109	136	-25										
M	65	147	-209	140	-234	380	-486	200	-690	8	30	-53	-23
DP	49	68	250	69	284	457	677	183	1,3 *	10	21	53	54

Obs.: * 10^{-2}

** Entressafra

TABELA 4.29 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Amoniacal													
Estação de Monitoramento 05													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.07.95	35					64	-83	64	-83	0			
28.08.95	27					84	-211						
24.10.95	157	172	-10										
31.07.96	26	113	-335	82	-215	159				27		-41	
26.08.96	15	122	-713	95	-533					22			
30.09.96	66	129	-95			221	-234	207	-214		6	-71	
21.10.96	84	125	-49	127	-51					-2			
25.11.96	111	127	-12	121	-9	237	-114	229	-106	5	3	-87	-89
16.12.96	109	125	-15	125	-15					0			
28.01.97	**			97				185					-91
24.02.97	**			69				124					-80
24.03.97	**			37				99					-168
M	70	130	-176	94	-155	153	-160	151	-134	11	3	-66	-107
DP	49	19	263	31	230	78	74	65	70	13	3	23	41

Obs.: ** Entressafra

TABELA 4.30 - Valores de Nitrogênio Amoniacal das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Amoniacal													
Estação de Monitoramento 06													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.07.95	35	53	-51	56	-60					-6			
28.08.95	27	90	-233	90	-233					0			
24.10.95	157	171	-9			165	-5						
12.12.95	**	219		167		219				24			
16.01.96	**	120	383	109						-219		4	
13.02.96	**	55		61		62		61		-11	2	0	
31.07.96	26	113	-335	92	-254					19		9	
26.08.96	15	106	-607	118	-687	138	-820	91	34		34	-13	0
30.09.96	66	118	-79	120	-82					-2			
21.10.96	84			127	-51								
25.11.96	111	121	-9	122	-9	222	-100	216	-95	-1	3	-83	-77
16.12.96	109	120	-10	119	-14					0,83			
28.01.97	**	93		75						19			
24.02.97	**	81		62						23			
24.03.97	**	79		33						58			
M	70	116	-167	135	-197	153	-308	123		-9	13	-19	-18
DP	49	53	214	99	235	63	446	82		69	18	35	52

Obs.: ** Entressafra

4.1.7 - Nitrogênio Nitrato

Observando-se as remoções médias nas Tabelas 4.31, 4.32, 4.33, 4.34 e 4.35 nota-se que, embora não tenha havido uma remoção em todas as Estações de Monitoramento, os valores decresceram ao longo das mesmas. Entre as sondas de 0,5 m e 1,5 m de profundidade, apenas na Estação de Monitoramento 04 houve um acréscimo. Quanto às caixas de drenagem livre, o mesmo ocorreu nas Estações 01 e 06. Nas colunas Rc das Tabelas 4.31 e 4.32 pode ser observada remoção positiva. As remoções ocorridas nas colunas Rd são mostradas nas

Tabelas 4.32 e 4.35. A oscilação da remoção média dessa forma de nitrogênio, em relação ao efluente do canal e a amostra coletada nas sondas e caixas, ficou entre -208% e -695%.

Os valores das concentrações dos alfontes ultrapassam o valor máximo permitido pela legislação, que é de 10 mg.L^{-1} , de acordo com Brasil (1990). As remoções negativas podem ser explicadas pela alternância da umidade do solo dos períodos de safra e entressafra. Nesta última, ocorre uma diminuição da umidade do solo das Estações criando condições aeróbias e, conseqüentemente, a nitrificação.

TABELA 4.31 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L^{-1} , e Remoção (R) em porcentagem.

		Nitrogênio Nitrato											
		Estação de Monitoramento 01											
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
13.06.95	ND					22		33			50		
16.10.95	22	45	-11	38	-73					16			
12.12.95	**	48		44		5				8		90	
13.02.96	**			32				22					31
01.07.96	ND	ND		ND		ND		ND					
31.07.96	ND	38	23							39			
26.08.96	3			33	-1,0 *								
30.09.96	3	33	-1,0 *										
21.10.96	4			32	-700	ND							
25.11.96	5	41	-720			51	-920	46	-820		10	-24	
M	7	42	-608	32	-591	26		34		16	-20	33	
DP	7	4	458	5	473	23		12		16	42	81	

Obs.: * 10^{-2}

** Entressafra

ND - Não Detectado

TABELA 4.32 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Nitrato													
Estação de Monitoramento 02													
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
13.06.95	ND					49	12				76		
16.10.95	22	39	-77			25	-14	23	-5		8	36	
16.01.96	**					17		15			12		
13.02.96	**	34		14		20		16		59	20	41	-14
01.07.96	ND	ND				ND		ND					
31.07.96	ND	27				28						4	
26.08.96	3	29	-1,3 *	22	-633	31	-933	25	-733	24	19	-7	-14
30.09.96	3	33	-1,0 *										
21.10.96	4	33	-725	23	-475	42	-950	27	-575	30	36	-27	-17
25.11.96	5	27	-440	22	-340	ND		25	-400	19			-14
16.12.96	4	29	-625										
28.01.97	**	ND				19		13			32		
24.02.97	**	16				12		9			25	44	
M	7	31	-695	20	-483	26	-632	20	-343	33	28	15	13
DP	7	4,	427	4	147	9	536	6	314	18	21	29	1

Obs.: * 10⁻²

** Entressafra

ND - Não Detectado

TABELA 4.33 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Nitrato													
Estação de Monitoramento 04													
		Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
Data	CP _b	c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.10.95	29	21	28			ND				-81			
16.01.96	**	14		25		24		16		-79	33	-71	36
13.02.96	**			18		20		18			10		0
01.07.96	ND					ND		ND					
31.07.96	ND	18											
26.08.96	4	20	-400	19	-125	33	-725	29	-625	5	12	-65	-53
30.09.96	5	22	-850										
21.10.96	5	24	-380	23	-360	37	-640	31	-520	4	16	-54	-35
25.11.96	6	23	-283	19	-217					17			
16.12.96	6	25	-317										
M	9	21	-367	21	-234	29	-683	24	-573	-27	16	-48	-17
DP	10	4	283	3	118	8	60	8	74	49	11	33	47

Obs.:** Entressafra

ND - Não Detectado

TABELA 4.34 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Nitrato													
Estação de Monitoramento 05													
		Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
Data	CP _b	c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
31.07.96	ND	18		15		23				17		-28	
26.08.96	4	18	-350	19	-375					-6			
30.09.96	5	19	-280			25	-400	18	-260		28	32	
21.10.96	5	21	-267	19	-280					10			
25.11.96	6	22	-267	19	-217	26	-333	20	-233	14	23	-18	-37
16.12.96	6	20	-233	19	-217					5			
28.01.97	**			13				13					0
24.02.97	**			7				8					-14
24.03.97	**			ND				ND					ND
M	5	20	-279	17	-272	25	-367	15	-247	9	26	-26	-17
DP	1	2	43	3	75	2	47	5	19	7	3	7	19

Obs.: ** Entressafra

ND - Não Detectado

TABELA 4.35 - Valores de Nitrogênio Nitrato das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Nitrato													
Estação de Monitoramento 06													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
12.12.95	**	34		23		14		3		32	79	59	87
16.01.96	**	18		14		24				22		-33	
13.02.96	**	16		12		17		13		25	23	-6	-8
31.07.96	ND	14		12						14			
26.08.96	4	16	-300	14	-250	23	-475	17	-325	13	26	44	-21
30.09.96	5	18	-260	15	-200					17			
21.10.96	5			17	-240								
25.11.96	6	18	-200	16	-167	27	-350	18	-200	11	33	-50	-13
16.12.96	6	19	-217	17	-183					11			
28.01.97	**	9		12						-33			
24.02.97	**	5		ND									
24.03.97	**	3		8							-167		
M	61	64	-244	15	-208	19	-413	13	-263	12	-1	-3	11
DP	1	7	45	4	36	7	88	7	88	19	95	47	51

Obs.: ** Entressafra

ND - Não Detectado

4.1.8 - Nitrogênio Nitrito

Nota-se que a remoção ocorre em alguns pontos e há acréscimo em outros, comprovando a instabilidade dessa espécie de nitrogênio, pois o mesmo em condições aeróbias se oxida para a forma de nitrato e em condições anaeróbias ocorre a desnitrificação.

Porém, como o local monitorado encontra-se saturado pela infiltração de vinhaça ao longo da safra, o processo de desnitrificação é atenuado conduzindo a uma substancial acumulação de nitrogênio, segundo IRRÍ (1969) apud PONNAMPERUMA (1972), podendo prejudicar a cinética de transformação devido à interferência no equilíbrio dos microrganismos que atuam no processo de desnitrificação.

Pode-se observar que nas Tabelas 4.36 e 4.39 houve remoção negativa entre o efluente dos canais e o afluente das sondas e das caixas de drenagem livre. Entretanto, a

sonda de 0,5 m e a caixa de drenagem livre de 1,5 m da Tabela 4.40, além das sondas de 1,5 m das Tabelas 4.37 e 4.38 apresentaram remoção média positiva. Concernente aos coletores do mesmo tipo, as sondas apresentaram remoção média positiva em todas as Estações, com exceção daquelas da Tabela 4.40. As caixas tiveram resultado semelhante, menos as da Tabela 4.38. Quanto aos coletores de mesma profundidade (Rc), apenas nos da E.M. 01 pode-se observar a ocorrência de remoção, nos demais os resultados mostram que houve acréscimo. Em todos os coletores de 1,5 m de profundidade (Rd), a remoção média foi negativa.

Verifica-se também, que a remoção média dos coletores em relação às amostras coletadas nos canais variou de $-1,2 \times 10^{-2}$ a 20%.

TABELA 4.36 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 01, sendo a Concentração (c) em mg.L^{-1} , e Remoção (R) em porcentagem.

		Nitrogênio Nitrito											
		Estação de Monitoramento 01											
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.07.95	2					52	-2,5 *	30	-1,4 *		42		
16.10.95	22	19	14	8	64					58			
12.12.95	**	7		7		4				0		43	
13.02.96	**			1				2					-100
01.07.96	ND	ND		ND		ND		ND					
31.07.96	ND	9						4					
26.08.96	3			6	-100								
30.09.96	3	11	-267										
21.10.96	4			7	-75	ND							
25.11.96	5	9	-80			3	40	2	60		33	67	
M	7	11	-111	6	-37	28	-1,2 *	10	-670	29	38	55	
DP	8	5	143	3	88	34	1,8 *	14	1,0 *	41	6	17	

Obs.: * 10^{-2}

** Entressafra

ND - Não Detectado

TABELA 4.37 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 02, sendo a Concentração (c) em mg.L^{-1} , e Remoção (R) em porcentagem.

		Nitrogênio Nitrito											
		Estação de Monitoramento 02											
Data	CP _a 1-2	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
13.06.95	ND					39							
16.10.95	22					17	23	17	23		0		
16.01.96	**					5		2			60		
13.02.96	**	4		2		4		3		50	25	0	-50
01.07.96	ND	ND		ND		ND		ND					
31.07.96	ND		4			4						0	
26.08.96	3	4		3		5		4		25	120	-25	-33
30.09.96	3	5	-67										
21.10.96	4	6	-50	4	0	6	-50	ND		33	50	0	ND
25.11.96	5	ND		3	40	ND		2	60				33
16.12.96	4	5	-25										
28.01.97	**	3				3		1			67	0	
24.02.97	**	2				2		1			50		
M	7	4	-44	3	20	10	-17	5	16	36	37	-4	-17
DP	8	1	18	1	20	12	37	6	47	13	26	10	44

Obs. : ** Entressafra

ND - Não Detectado

TABELA 4.38 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 04, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Nitrito													
Estação de Monitoramento 04													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
13.06.95	3					1	67	6	-100		-500		
24.10.95	29	ND				27	7						
16.01.96	**	5		5		8		7		0	13	-60	-40
13.02.96	**			3		6		2			67		33
01.07.96	ND	ND		ND		ND		ND					
31.07.96	ND	5		ND									
26.08.96	4	5	-25	3	25	7	-75	3	25	40	57	-40	0
30.09.96	5	6	-20										
21.10.96	5	ND		5	0	8	-60	ND					
25.11.96	6	5	167	4	33					20			
16.12.96	6	5	17										
M	8	5	-3	4	19	10	-15	5	-38	15	-91	-50	-2
DP	9	0,4	23	1	17	9	66	2	88	19	274	14	37

Obs.: ** Entressafrá

ND - Não Detectado

TABELA 4.39 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 05, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Nitrito													
Estação de Monitoramento 05													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
31.07.96	ND	2		3		4				-50		-100	
26.08.96	4	3	25	4	0					25			
30.09.96	5	6	-20			25	-400	8	-60	68	68	-317	
21.10.96	5	7	-40	6	-20					114			
25.11.96	6	6	0	ND		2	67	4	33		-50	-67	
16.12.96	6	ND	3	50	-733								
28.01.97	**			2				3					-50
24.02.97	**			1				2					-100
24.03.97	**			ND				ND					
M	5	5	-12	4	-251	10	-167	4	-13	30	9	-161	-75
DP	1	2	33	2	36	13	330	3	66	82	83	153	35

Obs.: ** Entressafrá

ND - Não Detectado

TABELA 4.40 - Valores de Nitrogênio Nitrito das amostras coletadas na Estação de Monitoramento 06, sendo a Concentração (c) em mg.L⁻¹, e Remoção (R) em porcentagem.

Nitrogênio Nitrito													
Estação de Monitoramento 06													
Data	CP _b	Sd 0,5 m		Sd 1,5 m		CDL 0,5 m		CDL 1,5 m		Ra	Rb	Rc	Rd
		c	Rs	c	Rs ₁	c	Rc	c	Rc ₁	R	R	R	R
24.07.95	6					10	-433						
24.10.05	29	14	52			8	72	8	72		0	43	
12.12.95		10		17		13				-70		-30	
16.01.96		7		5		7				29		0	
13.02.96		3		3		5		4		0	20	-67	
31.07.96	ND	2		3						-50			
26.08.96	4	4	0	5	-25	7	-75	6	-50	-25	14	-75	-20
30.09.96	5	6	-20	5	0					17			
21.10.96	5	ND									20	-25	
25.11.96	6	4	33	ND		5	17	4	33				
16.12.96	6	ND		6	0								
28.01.97		3		4						-33			
24.02.97		1		3									
24.03.97		ND		1						-200			
M	9	6	16	5	-8	8	-105	6	19	-42	14	-26	-28
DP	9	4	32	5	14	3	227	2	63	72	9	49	12

Obs.: ** Entressafra

ND - Não Detectado

Comparando os resultados obtidos dos pontos testemunhas monitorados: cisterna, poço, açude e rio com os obtidos nas Estações de Monitoramento, para todos os parâmetros, verificou-se que os tais pontos de amostragem não apresentaram indícios de poluição. Isso significa que o deslocamento vertical da vinhaça no solo, não tenha atingido o lençol freático. Os resultados encontrados para os pontos testemunhas podem ser observados no Anexo 01.

4.2 - Diferenças na Concentração entre as Amostras Obtidas dos Dois Tipos de Coletores

A Tabela 4.2.1 mostra a comparação entre os resultados das sondas e caixas de drenagem livre (CDL). Os números representam a frequência da maior concentração das

variáveis analisadas nesses coletores. O Nitrogênio Kjeldahl apresenta concentração maior nas caixas do que nas sondas.

As outras espécies de nitrogênio tiveram o mesmo comportamento em relação às caixas. Comportamento semelhante teve a variável Condutividade Elétrica.

Para os valores de DQO não houve predominância de concentrações maiores. Enquanto que para o pH predominou valores maiores nas sondas.

Tal circunstância pode ser explicada pela diferença entre a porosidade da sonda de ponta porosa e da caixa de drenagem livre, sendo que no primeiro tipo de coletor flui mais material dissolvido e menos material particulado do que na caixa. Isso resulta em discrepâncias nos valores entre os dois tipos de amostragem.

TABELA 4.41 - Comparativo das maiores concentrações das amostras coletadas nas sondas e caixas.

Variável	Sonda		CDL	
	Quantidade	Porcentagem	Quantidade	Porcentagem
N-Kjeldahl	13	42 %	18	58 %
N-Amoniacal	9	29 %	22	71 %
N-Nitrato	6	19 %	25	81 %
N-Nitrito	6	25 %	18	75 %
DQO	13	52 %	12	48 %
C.E.	6	33 %	12	67 %
pH	8	89 %	1	11 %

Testou-se em laboratório as sondas e caixas de drenagem livre para verificar a possível interferência desses coletores nos valores de pH. Foram feitas três réplicas. Utilizou-se água com pH 3,40; 3,42 e 3,42, respectivamente. O líquido ficou durante vinte e quatro horas na sonda e na caixa. Findo esse tempo foi coletado e analisado. Os resultados encontrados podem ser observados na Tabela 4.42.

TABELA 4.42 - Valores de pH resultantes do monitoramento de sonda e caixa de drenagem livre.

pH da Água	Valores de pH resultantes das análises	
	Sonda	Caixa
3,40	6,3	3,53
3,42	7,4	3,64
3,42	7,4	3,64

4.3 - Resultados da Caracterização do Solo das Estações de Monitoramento

4.3.1 - Análise Química

Os dados obtidos das análises químicas de solo podem ser observados no Anexo 02.

4.3.2 - Análise Física

Os resultados obtidos da determinação da curva granulométrica e da curva característica de retenção da água no solo encontram-se, respectivamente, nos Anexos 03 e 04 e os dados resultantes das análises da densidade global ou aparente do solo podem ser observados na Tabela 4.43 e da densidade real, na Tabela 4.44.

TABELA 4.43 - Dados de Densidade Aparente obtidos das amostras coletadas nas Estações de monitoramento.

Prof. (cm)	Média das Estações 01, 02 e 03 g/cm ⁻³	Média das Estações 04, 05 e 06 g/cm ⁻³
0,5	1,2	1,6
1,5m	1,3	1,6

TABELA 4.44 - Dados de Densidade Real obtidos das amostras coletadas nas Estações de monitoramento.

Prof. (cm)	Média das Estações 01, 02 e 03 g/cm ⁻³	Média das Estações 04, 05 e 06 g/cm ⁻³
0,5	2,8	2,6
1,5m	2,8	2,7

4.4 - Determinação da Altura da Água Disponível no Solo

A Tabela 4.45 apresenta os resultados obtidos para a determinação da altura da água disponível no solo.

TABELA 4.45- Determinação da Altura da Água Disponível no Solo.

EM	CC (%)	PM (%)	Dg (g/cm ³)	h (cm)	H (mm)	Vs (m ³ /m)
1 - 1,5	30	21,57	1,26	150	159,33	0,59
2 - 1,5	37,12	26,04	1,36	150	226,03	0,84
3 - 1,5	27,85	18,82	1,28	150	173,38	0,64
4 - 1,5	20,33	14,04	1,66	150	156,62	0,49
5 - 1,5	13,42	9,86	1,79	150	95,59	0,30
6 - 1,5	14,94	9,96	1,64	150	122,51	0,38

4.5 - Percolação da Água no Solo

A porcentagem de água percolada atingiu, em média, o índice de 91,7 %. Isto indica que considerando os dados do canal e de capacidade de retenção de água no solo, mais de 90 % do líquido pode percolar e assim, atingir a manta freática, persistindo os índices de capacidade de infiltração avaliados para o solo local. Por outro lado, o tempo para infiltração do volume de vinhaça em um metro linear do canal é de cerca de 08 dias no terreno com textura franco arenosa e de cerca de 04 dias no de areia franca, conforme mostra a Tabela 4.46. Evidentemente será muito superior no período da safra que normalmente vai de maio a novembro, portanto, 07 meses. Isto sugere que o canal condutor, sem revestimento, isto é, de terra, tem grande chance da vinhaça atingir a manta freática e assim contaminá-la, em se considerando a redução da capacidade de infiltração do solo ao longo do tempo.

TABELA 4.46 - Determinação da Porcentagem da Água Retida, da Água Percolada e de sua Infiltração no Solo.

EM	Vs (m ³ /m)	Vc (m ³ /m)	Pr (%)	Pp (%)	f (m ³ /h)	Tf (h)	T (dias)
1 - 1,5	0,59	6,90	8,6	91,40	0,037	186,5	7,80
2 - 1,5	0,84	6,90	12,2	88,30	0,037	186,5	7,80
3 - 1,5	0,64	6,90	9,3	91,60	0,037	186,5	7,80
4 - 1,5	0,49	5,40	9,1	91,10	0,059	91,5	3,81
5 - 1,5	0,3	5,40	5,6	94,6	0,059	91,5	3,81
6 - 1,5	0,38	5,40	7,0	93	0,059	91,5	3,81
Média	0,54	6,15	8,6	91,67	0,048	139	5,81

5 - CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos e nas condições da pesquisa, chegou-se às seguintes conclusões:

a) o poder de remoção do solo está comprometido em decorrência do longo período de operação dos canais, indicando possibilidade do efluente atingir o lençol freático;

b) as concentrações de nitrogênio na solução do solo e na água de percolação a 0,50 e 1,50 m, estão em nível superior aos padrões de potabilidade, indicando a poluição da água nessas profundidades, e conseqüentemente, a possibilidade de atingir o lençol freático;

c) considerando o risco contínuo de poluição do lençol freático durante o tempo de operação dos canais na safra e ao longo dos anos, conclui-se que os canais condutores devem ser revestidos de material adequado, impedindo a poluição contínua e pontual do efluente;

d) os valores de retenção de água no canal indicam que os valores de percolação da ordem de 91,4 % podem contribuir para a poluição do lençol freático, considerando que esse volume vem-se infiltrando no solo há 13 anos e,

e) a diferença na concentração das amostras coletadas das sondas e das caixas de drenagem livre indica uma discordância entre esses dois tipos de coletores, e sugere uma avaliação prévia dos amostradores no que se refere ao material empregado.

ANEXO 01

**Resultados Obtidos para os
Pontos Testemunhas para todos
os Parâmetros Analisados**

TABELA 1.1 - Valores de pH para os Pontos Testemunhas.

	pH			
	Rio	Açude	Cisterna	Poço
13.06.95				
24.07.95	7,53	6,48		
28.08.95	7,06	5,86		
16.10.95	6,82		6,24	
24.10.95		5,53		
12.12.95	7,48	5,90	6,24	7,84
16.01.96	7,39	5,39	6,2	7,95
13.02.96	7,33	4,98	6,14	7,87
01.07.96	7,31	5,46	6,26	7,68
31.07.96	7,2	5,43	6,28	7,93
26.08.96	7,29	5,56	6,08	7,12
30.09.96	7,51	4,7	5,5	7,9
21.10.96	7,35	4,64	5,52	7,81
25.11.96	7,3	5,0	6,10	7,8
16.12.96	7,2	4,9	5,5	11,06
28.01.97	7,64		5,92	7,98
24.02.97	7,45		5,86	7,75
24.03.97	7,2		6,07	9,98

Obs.: 1 - Os espaços em branco significam que não houve coleta.

2 - As coletas de amostras na cisterna começaram em outubro e as do poço em dezembro de 1995.

TABELA 1.2 - Valores de DQO em mg.L⁻¹ para os Pontos Testemunhas.

DQO				
	Rio	Açude	Cisterna	Poço
13.06.95				
24.07.95	50	23		
28.08.95	42	64		
16.10.95	54		3	
24.10.95		97		
12.12.95	12	40	2	3
16.01.96	21	43	4	2
13.02.96	7	2	0,8	6
01.07.96	55	37	46	60
31.07.96	7	22	17	63
26.08.96	21	37	19	14
30.09.96	2	80	342	441
21.10.96	12	86	512	416
25.11.96	6	61	40	354
16.12.96	9	72	64	444
28.01.97	4		39	464
24.02.97	3		22	326
24.03.97	4		21	329

Obs.: 1 - Os espaços em branco significam que não houve coleta.

2 - As coletas de amostras na cisterna começaram em outubro e as do poço em dezembro de 1995.

TABELA 1.3 - Valores de Condutividade Elétrica em mS.cm^{-2} para os Pontos Testemunhas.

C.E.				
	Rio	Açude	Cisterna	Poço
13.06.95				
24.07.95	ND	ND		
28.08.95	144	25		
16.10.95	ND		ND	
24.10.95		ND		
12.12.95	ND	ND	ND	ND
16.01.96	ND	ND	ND	ND
13.02.96	ND	ND	ND	ND
01.07.96	51	10	21	154
31.07.96	ND	ND	ND	ND
26.08.96	ND	ND	31	ND
30.09.96	106	ND	204	210
21.10.96	ND	ND	27	224
25.11.96	28	ND	56	239
16.12.96	ND	ND	32	ND
28.01.97	ND		23	194
24.02.97	34		30	202
24.03.97	43		31	202

Obs.: 1 - Os espaços em branco significam que não houve coleta.

2 - As coletas de amostras na cisterna começaram em outubro e as do poço em dezembro de 1995.

3 - ND - Não Detectável.

TABELA 1.4 - Valores de Nitrogênio Total em mg.L⁻¹ para os Pontos Testemunhas.

Nitrogênio Total.				
	Rio	Açude	Cisterna	Poço
13.06.95				
24.07.95				
28.08.95				
16.10.95	ND			
24.10.95		ND		
12.12.95	ND	ND	ND	ND
16.01.96	ND	ND	ND	ND
13.02.96	ND	ND	ND	ND
01.07.96				
31.07.96	ND	ND	ND	ND
26.08.96	ND	ND	ND	ND
30.09.96	ND	ND	ND	ND
21.10.96	ND	ND	ND	ND
25.11.96	ND	ND	ND	ND
16.12.96	ND	ND	ND	ND
28.01.97	ND		ND	ND
24.02.97	ND		ND	ND
24.03.97	ND		ND	ND

Obs.: 1 - Os espaços em branco significam que não houve coleta.

2 - As coletas de amostras na cisterna começaram em outubro e as do poço em dezembro de 1995.

3 - ND - Não Detectável.

TABELA 1.5 - Valores de Nitrogênio Amoniacal em mg.L⁻¹ para os Pontos Testemunhas.

Nitrogênio Amoniacal				
	Rio	Açude	Cisterna	Poço
13.06.95				
24.07.95	ND	ND		
28.08.95	ND	ND		
16.10.95	ND		ND	
24.10.95		ND		
12.12.95	ND	ND	ND	ND
16.01.96	ND	ND	ND	ND
13.02.96	ND	ND	ND	ND
01.07.96	ND	ND	ND	ND
31.07.96	ND	ND	ND	ND
26.08.96	ND	ND	ND	ND
30.09.96	ND	ND	ND	ND
21.10.96	ND	ND	ND	ND
25.11.96	ND	ND	ND	ND
16.12.96	ND	ND	ND	ND
28.01.97	ND		ND	ND
24.02.97	ND		ND	ND
24.03.97	ND		ND	ND

Obs.: 1 - Os espaços em branco significam que não houve coleta.

2 - As coletas de amostras na cisterna começaram em outubro e as do poço em dezembro de 1995.

3 - ND - Não Detectável.

TABELA 1.6 - Valores de Nitrogênio Kjeldahl em mg.L⁻¹ para os Pontos Testemunhas.

Nitrogênio Kjeldahl				
	Rio	Açude	Cisterna	Poço
13.06.95				
24.07.95				
28.08.95	ND	21		
16.10.95	3			
24.10.95		3		
12.12.95	0,9	0,9	1	2
16.01.96	ND	ND	ND	ND
13.02.96	ND	ND	ND	ND
01.07.96				
31.07.96	ND	ND	ND	ND
26.08.96	ND	ND	ND	ND
30.09.96	ND	ND	ND	ND
21.10.96	ND	ND	ND	ND
25.11.96	ND	ND	ND	ND
16.12.96	ND	ND	ND	ND
28.01.97	ND		ND	ND
24.02.97	ND		ND	ND
24.03.97	ND		ND	ND

Obs.: 1 - Os espaços em branco significam que não houve coleta.

2 - As coletas de amostras na cisterna começaram em outubro e as do poço em dezembro de 1995.

3 - ND - Não Detectável.

TABELA 1.7 - Valores de Nitrogênio Nitrato em mg.L⁻¹ para os Pontos Testemunhas.

Nitrogênio Nitrato				
	Rio	Açude	Cisterna	Poço
13.06.95				
24.07.95	ND	ND		
28.08.95				
16.10.95	ND		ND	
24.10.95		ND		
12.12.95	ND	ND	ND	ND
16.01.96	ND	ND	ND	ND
13.02.96	ND	ND	ND	ND
01.07.96	ND	ND	ND	ND
31.07.96	ND	ND	ND	ND
26.08.96	ND	ND	ND	ND
30.09.96	ND	ND	ND	ND
21.10.96	ND	ND	ND	ND
25.11.96	ND	ND	ND	ND
16.12.96	ND	ND	ND	ND
28.01.97	ND	ND	ND	ND
24.02.97	ND	ND	ND	ND
24.03.97	ND	ND	ND	ND

Obs.: 1 - Os espaços em branco significam que não houve coleta.

2 - As coletas de amostras na cisterna começaram em outubro e as do poço em dezembro de 1995.

3 - ND - Não Detectável.

TABELA 1.8 - Valores de Nitrogênio Nitrito em mg.L⁻¹ para os Pontos Testemunhas.

Nitrogênio Nitrito				
	Rio	Açude	Cisterna	Poço
13.06.95				
24.07.95	2	1		
28.08.95				
16.10.95	ND		ND	
24.10.95		ND		
12.12.95	0,03	ND	ND	ND
16.01.96	ND	ND	ND	ND
13.02.96	ND	ND	ND	ND
01.07.96	ND	ND	ND	ND
31.07.96	ND	ND	ND	ND
26.08.96	ND	ND	ND	ND
30.09.96	ND	ND	ND	ND
21.10.96	ND	ND	ND	ND
25.11.96	ND	ND	ND	ND
16.12.96	ND	ND	ND	ND
28.01.97	ND	ND	ND	ND
24.02.97	ND	ND	ND	ND
24.03.97	ND	ND	ND	ND

Obs.: 1 - Os espaços em branco significam que não houve coleta.

2 - As coletas de amostras na cisterna começaram em outubro e as do poço em dezembro de 1995.

3 - ND - Não Detectável.

ANEXO 02

**Resultado da Caracterização
Química do Solo das Estações de
Monitoramento.**

TABELA 1.1 - Resultado das Análises Químicas do Solo das Estações de Monitoramento.

Amostras	Análise Química de Solo									
	P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	S	CTC	V
Prof. (m)	$\mu\text{g}/\text{cm}^3$	%	CaCl_2	meq/cm^3						
EM01-0,5	5	1,3	6,8	7,64	3,8	1,4	1,3	12,8	14,1	91
EM01-1,5	20	0,8	6,6	4,42	2,8	1,2	1,6	8,4	10	84
EM02-0,5	4	1	6,3	5,54	3,4	0,9	1,8	9,8	11,6	85
EM02-1,5	1	0,9	6,6	1,58	2	0,6	1,5	4,2	5,7	74
EM03-0,5	1	0,9	7	4,49	2,8	0,6	1,2	7,9	9,1	87
EM03-1,5	1	0,9	7,2	0,94	2,8	0,6	1,1	4,3	5,4	80
EM04-0,5	443	0,8	6,8	0,84	2,6	0,9	1,2	4,3	5,5	78
EM04-1,5	298	0,4	6,5	1,37	1,6	0,5	1,3	3,5	4,8	73
EM05-0,5	136	0,8	5,8	0,7	2,1	0,6	2	3,4	5,4	63
EM05-1,5	87	0,7	6,1	1	1,3	0,6	1,6	2,9	4,5	64
EM06-0,5	164	0,8	5,0	0,44	3,2	0,5	2,8	4,1	6,9	60
EM06-1,5	120	1,3	5,6	0,67	1,8	0,6	2	3,1	5,1	61

* CP e CM: canal principal e canal mestre

ANEXO 03

**Resultados da Curva
Granulométrica do Solo**

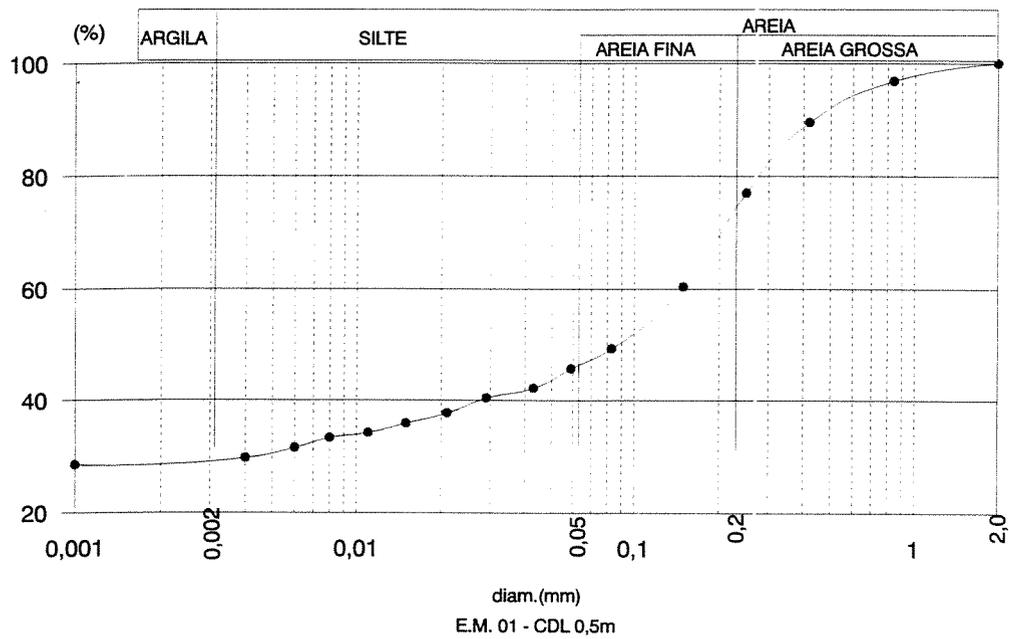


FIGURA 3.1 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de Monitoramento 01, Caixa de Drenagem livre 0,5 m.

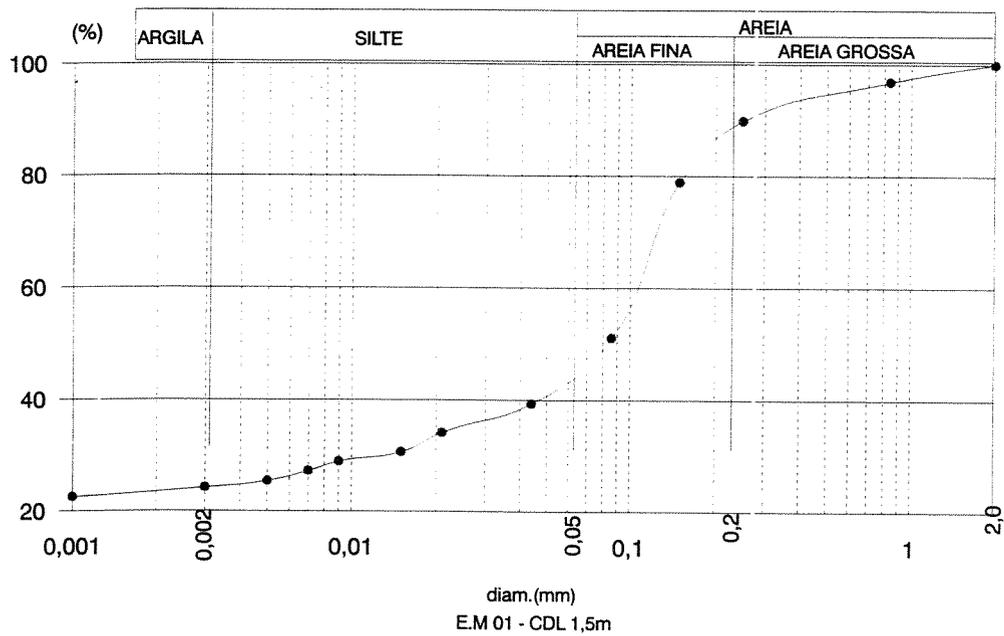


FIGURA 3.2 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de Monitoramento 01, Caixa de Drenagem livre 1,5 m.

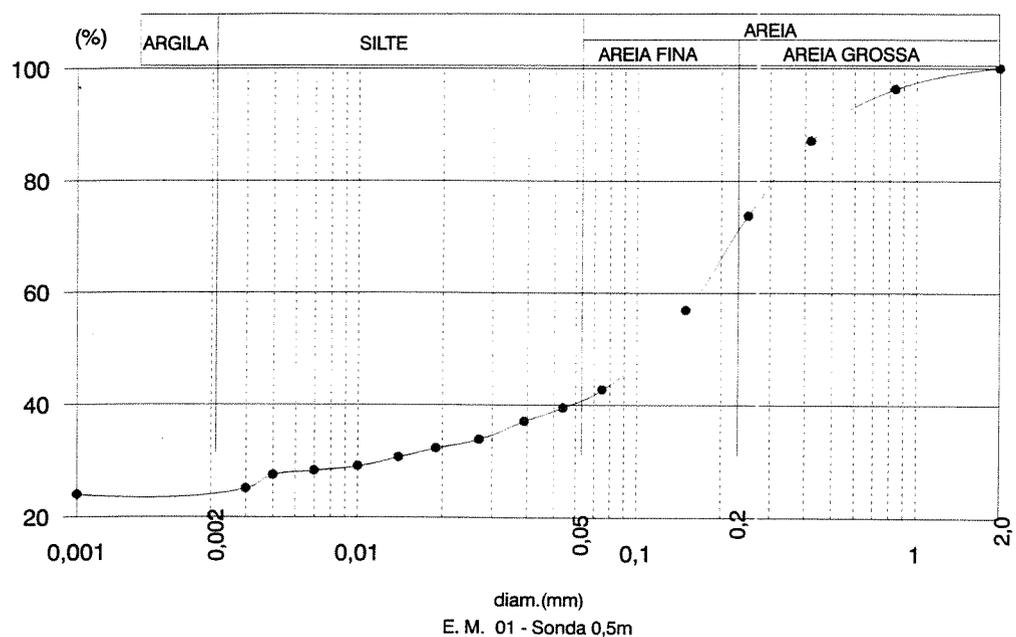


FIGURA 3.3 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de Monitoramento 01, Sonda 0,5 m.

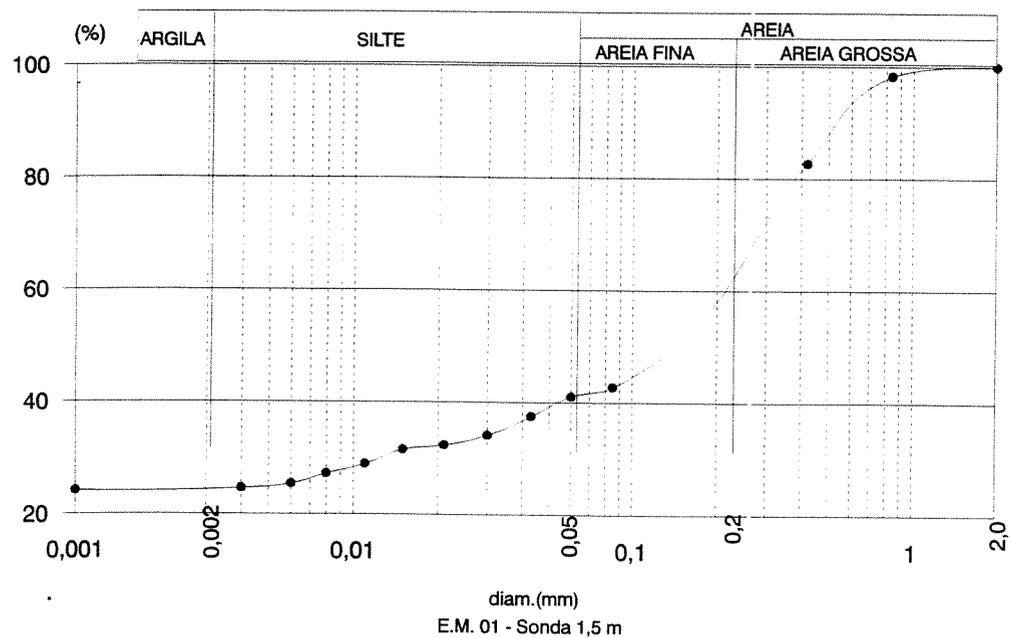


FIGURA 3.4 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de Monitoramento 01, Sonda 1,5 m.

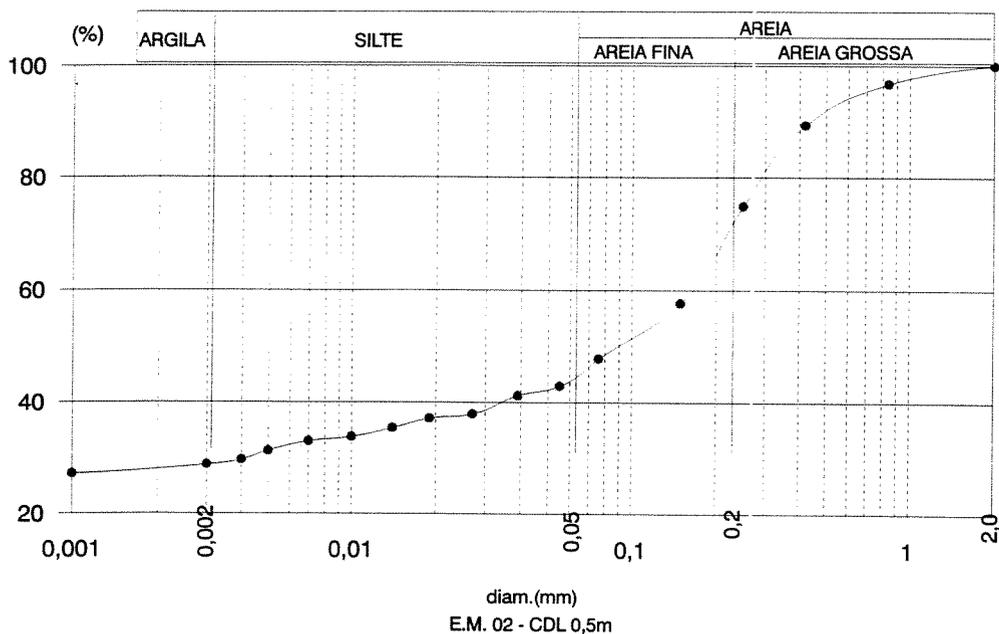


FIGURA 3.5 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de Monitoramento 02, Caixa de Drenagem livre 0,5 m.

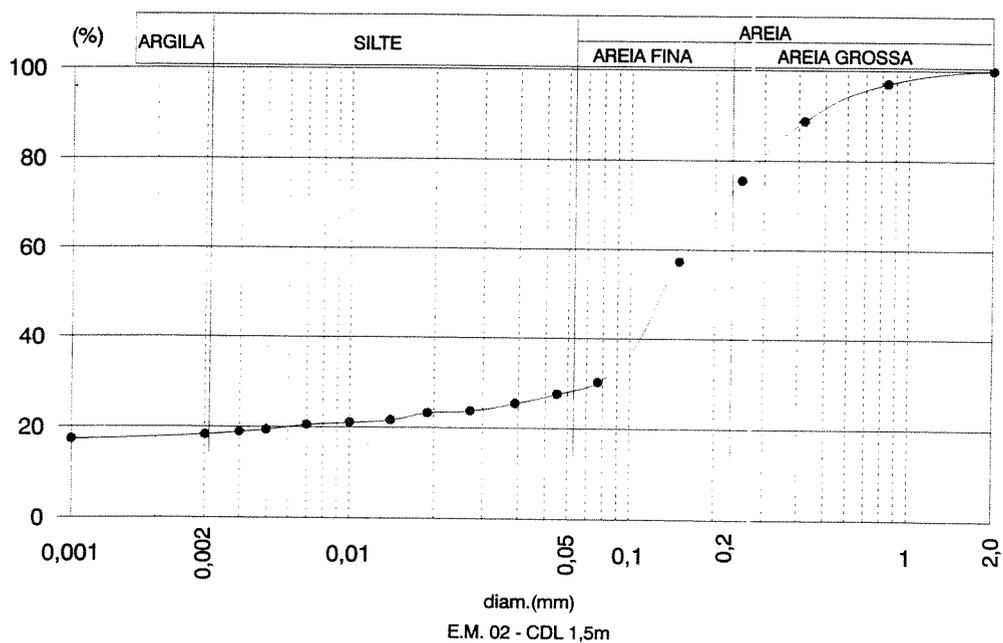


FIGURA 3.6 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de Monitoramento 02, Caixa de Drenagem livre 1,5 m.

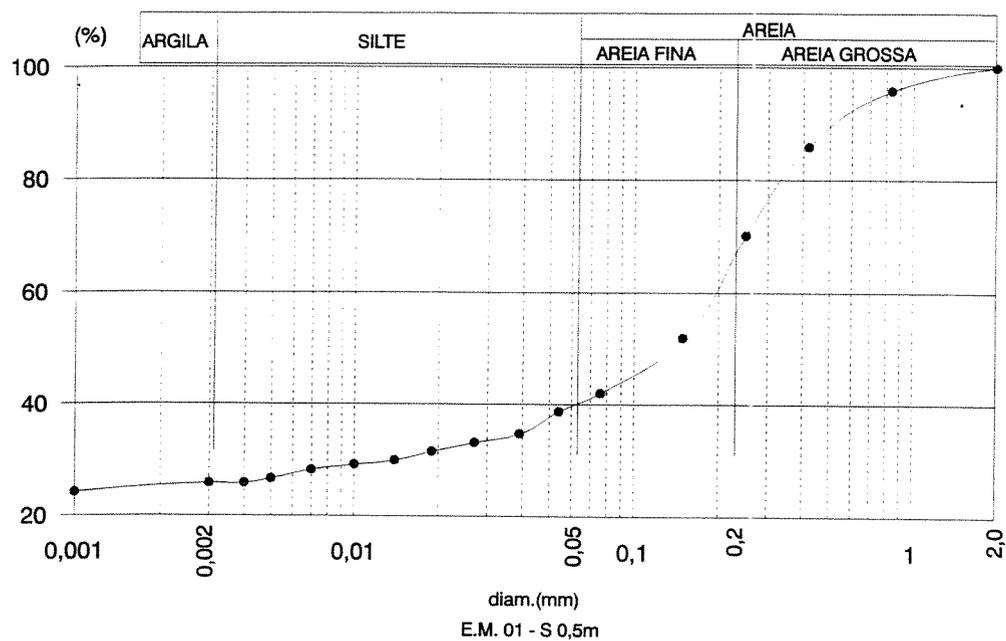


FIGURA 3.7 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de Monitoramento 02, Sonda 0,5 m.

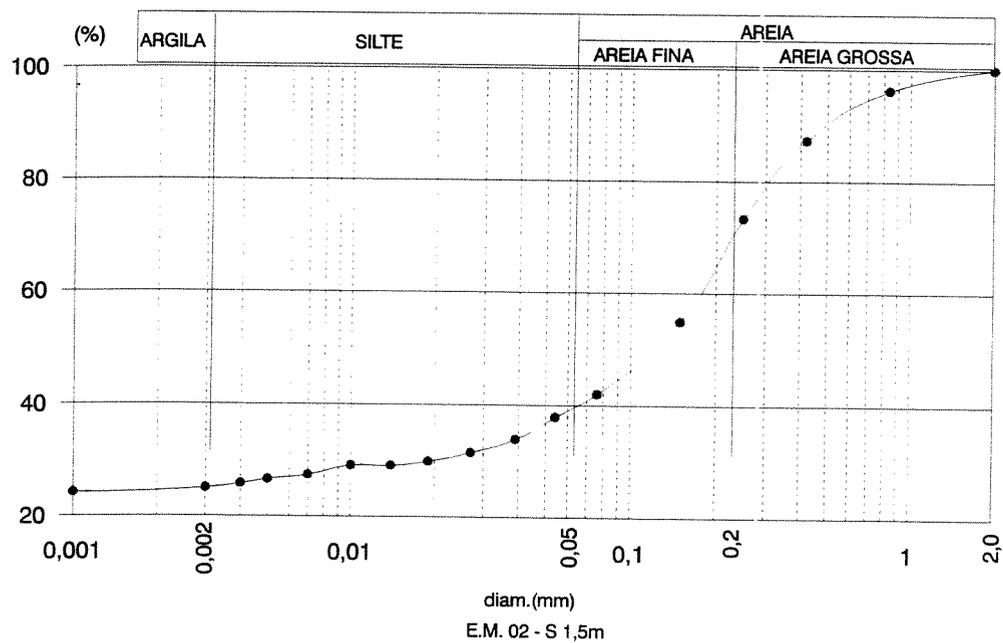


FIGURA 3.8 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de Monitoramento 02, Sonda 1,5 m.

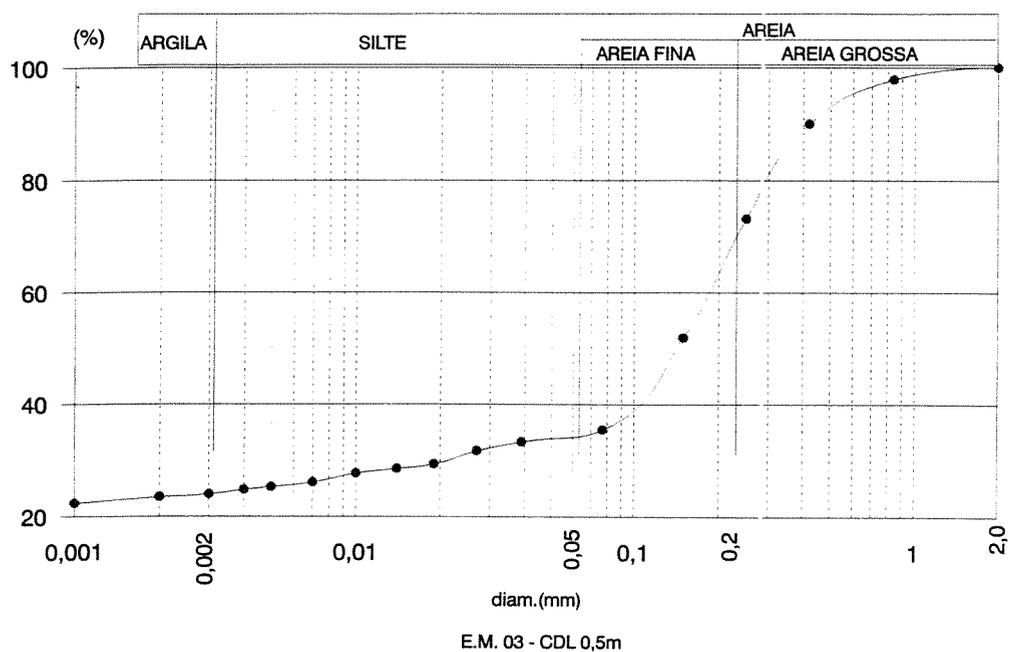


FIGURA 3.9 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 03, Caixa de Drenagem Livre 0,5 m.

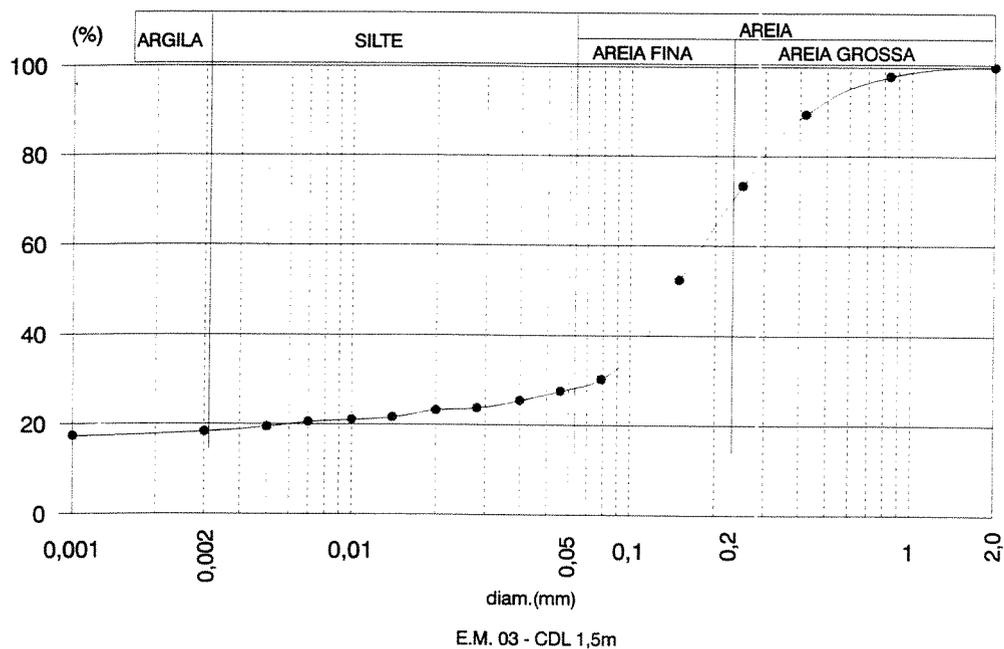


FIGURA 3.10 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 03, Caixa de Drenagem Livre 1,5 m.

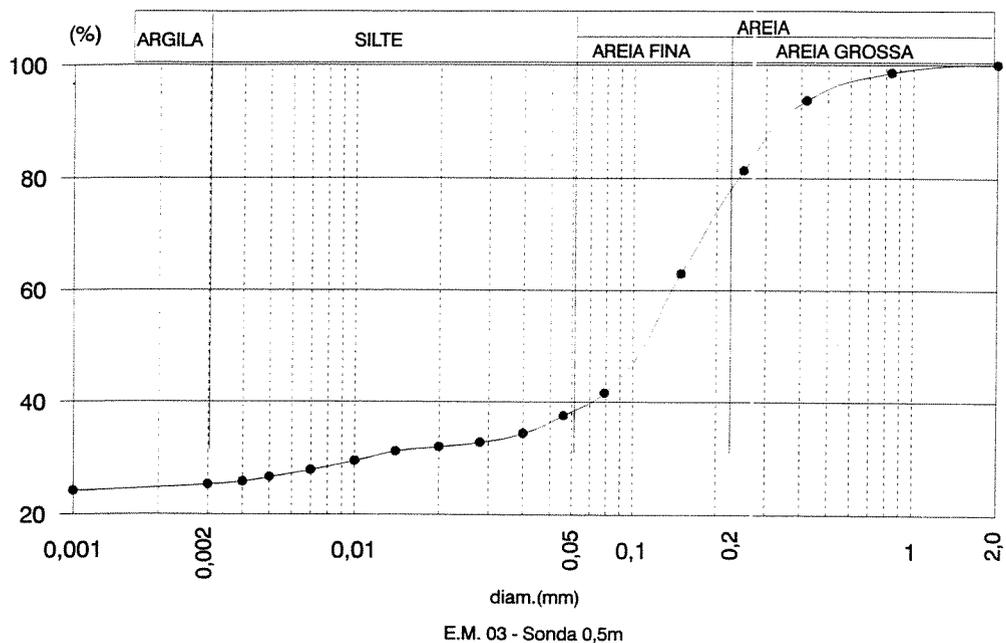


FIGURA 3.11 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 03, Sonda 0,5 m.

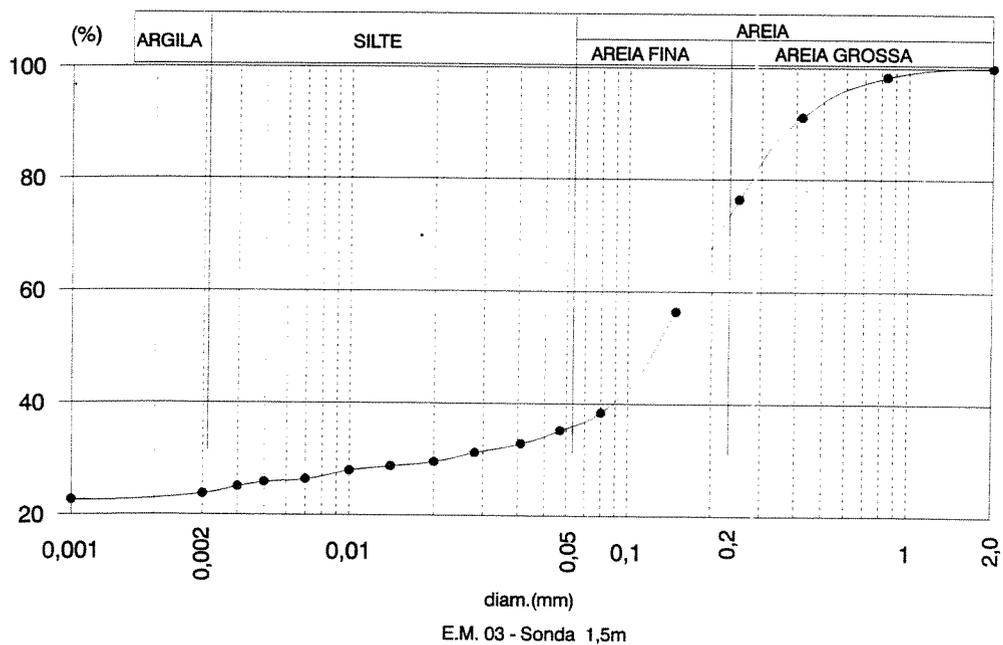


FIGURA 3.12 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 03, Sonda 1,5 m.

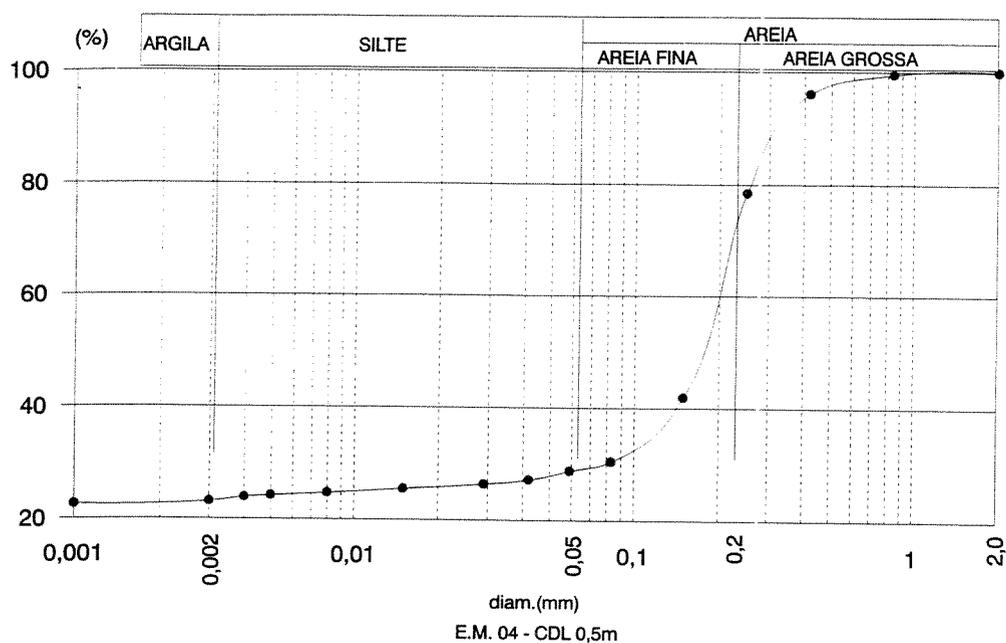


FIGURA 3.13 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 04, Caixa de Drenagem Livre 0,5 m.

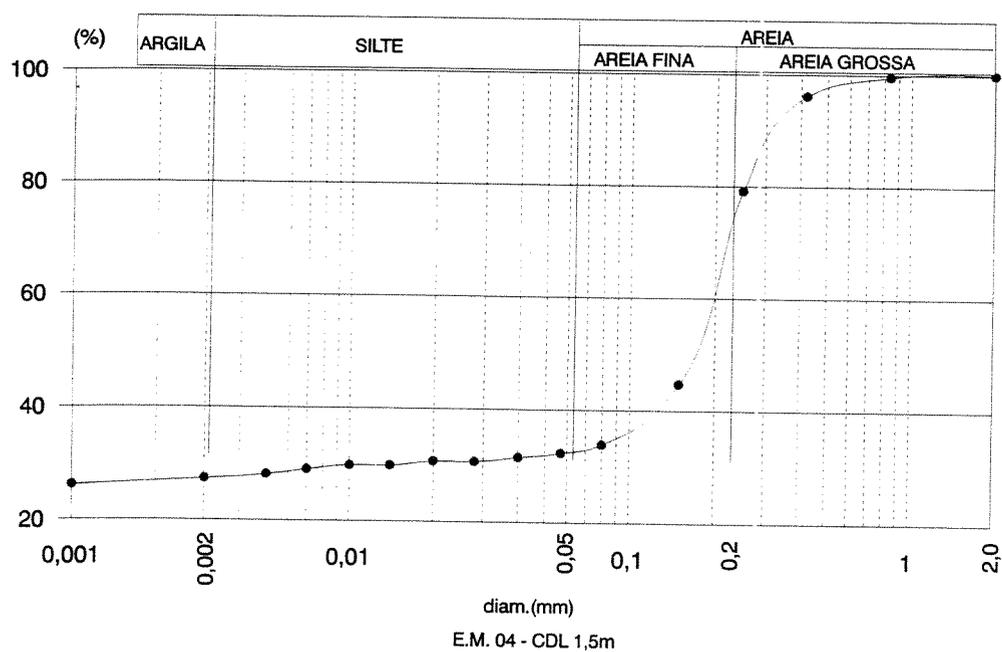


FIGURA 3.14 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 04, Caixa de Drenagem Livre 1,5 m.

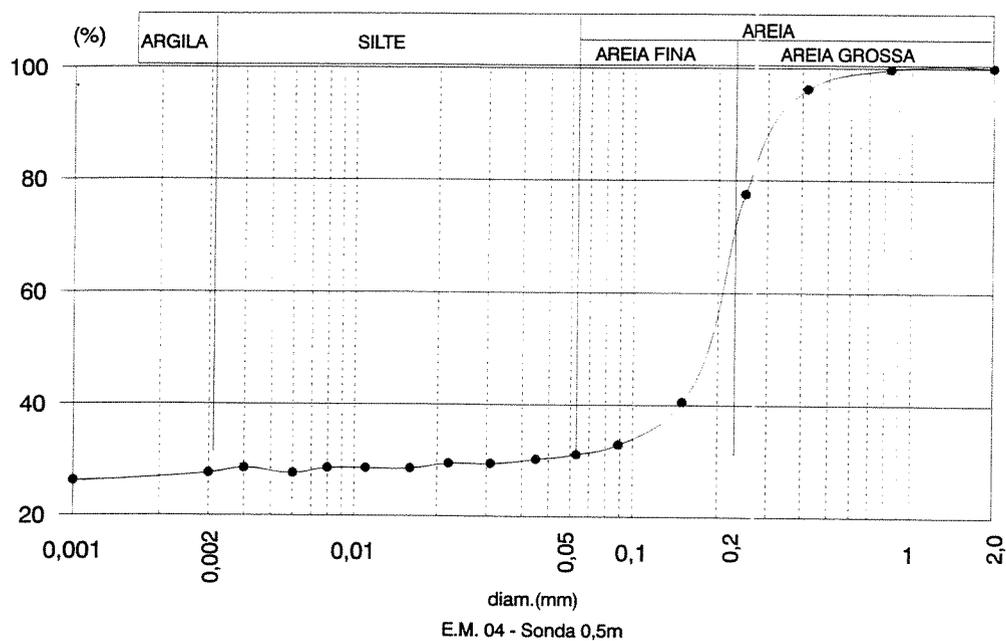


FIGURA 3.15 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 04, Sonda 0,5 m.

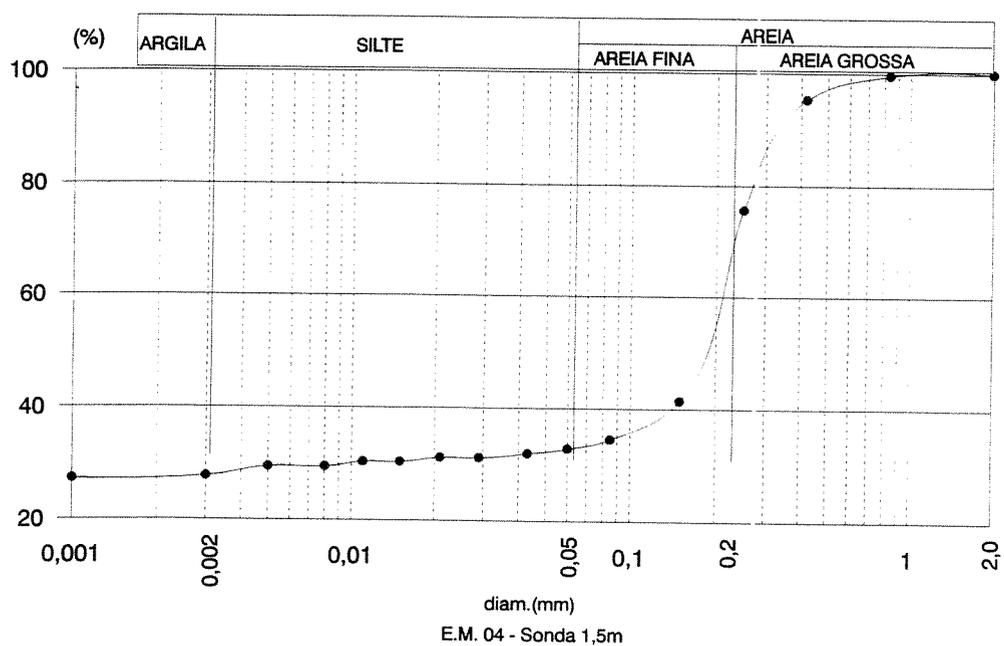


FIGURA 3.16 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 04, Sonda 1,5 m.

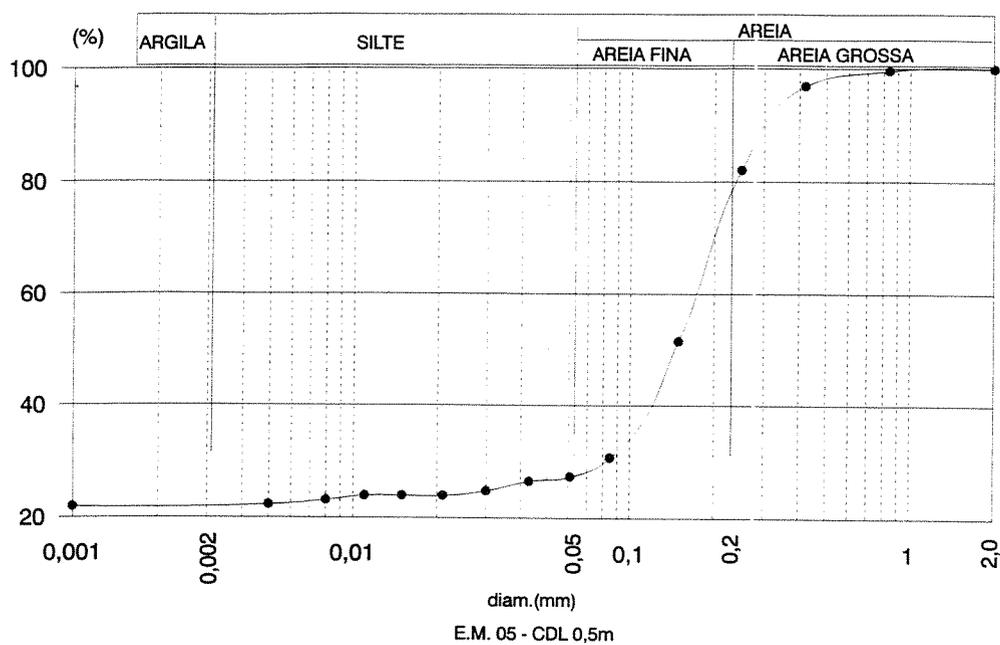


FIGURA 3.17 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 05, Caixa de Drenagem Livre 0,5 m.

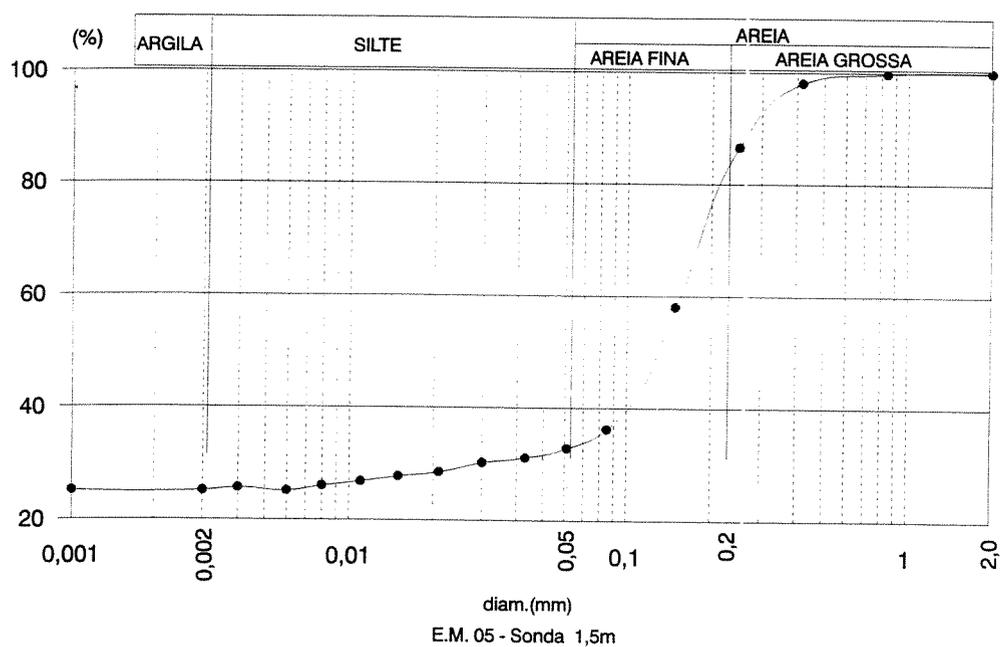


FIGURA 3.18 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 05, Caixa de Drenagem Livre 1,5 m.

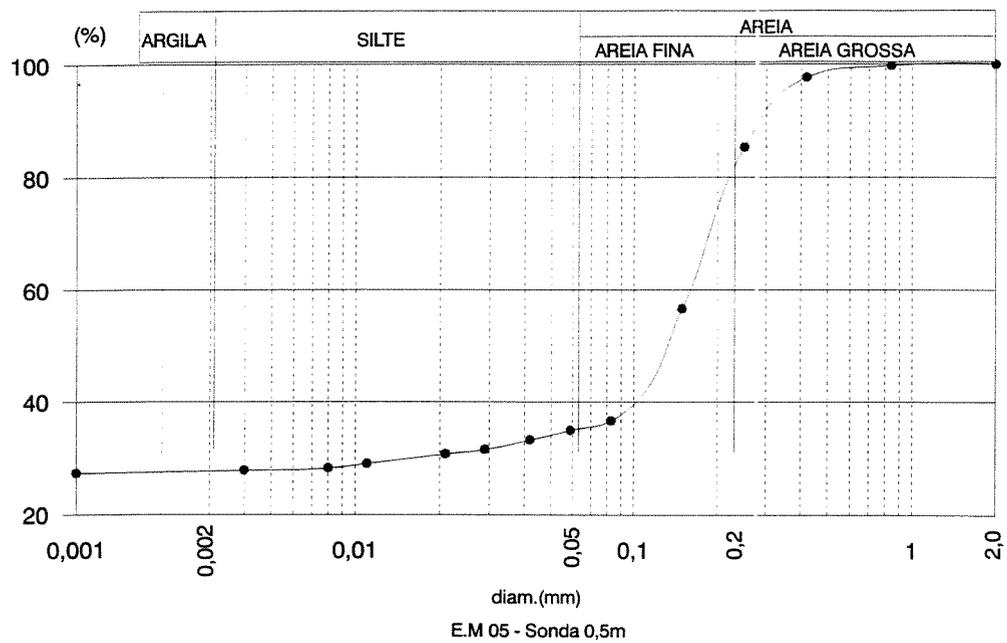


FIGURA 3.19 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 05, Sonda 0,5 m.

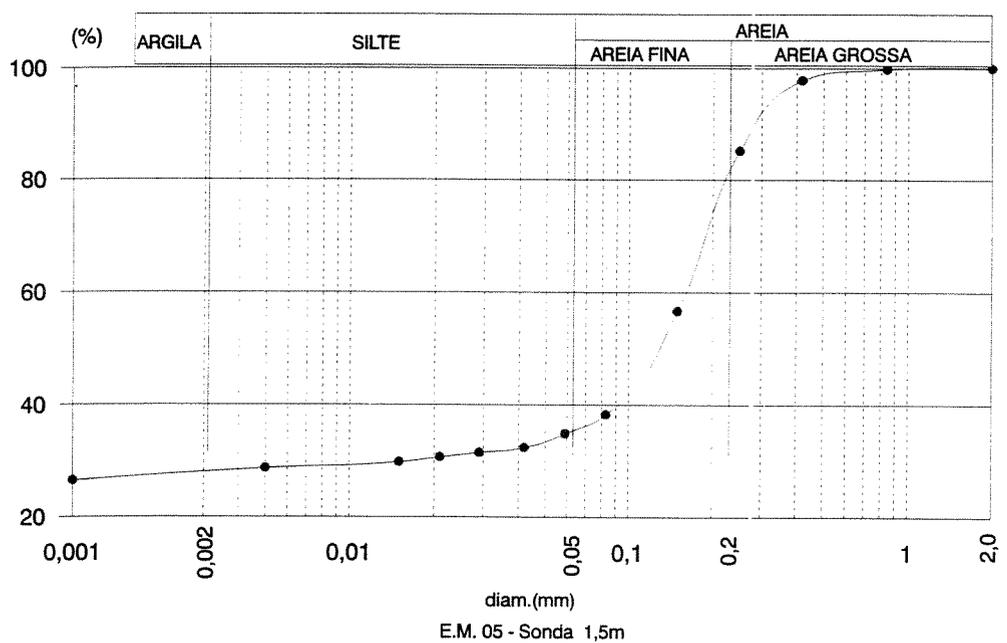


FIGURA 3.20 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 05, Sonda 1,5 m.

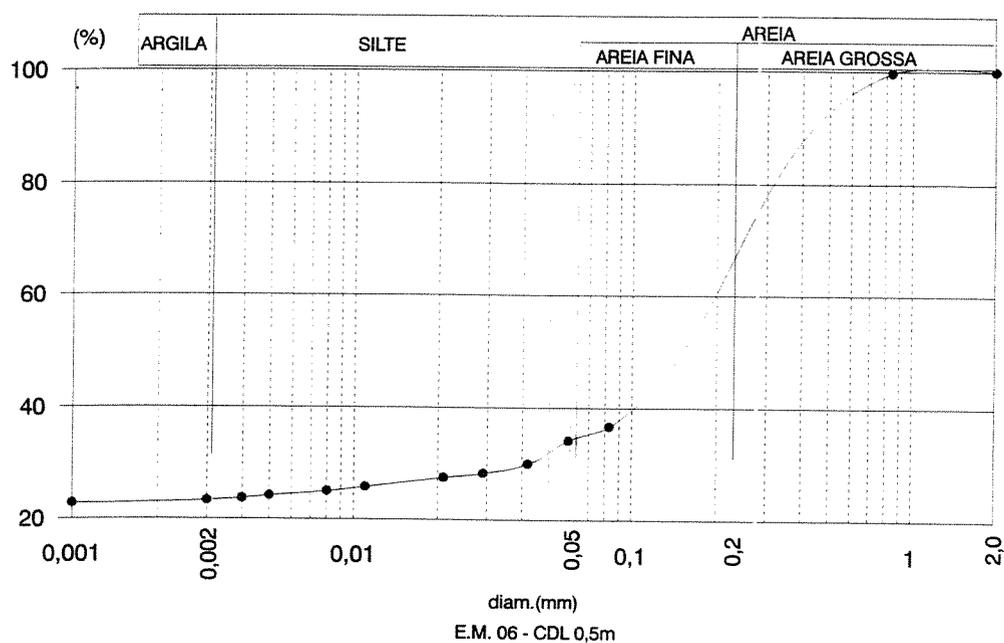


FIGURA 3.21 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 06, Caixa de Drenagem Livre 0,5 m.

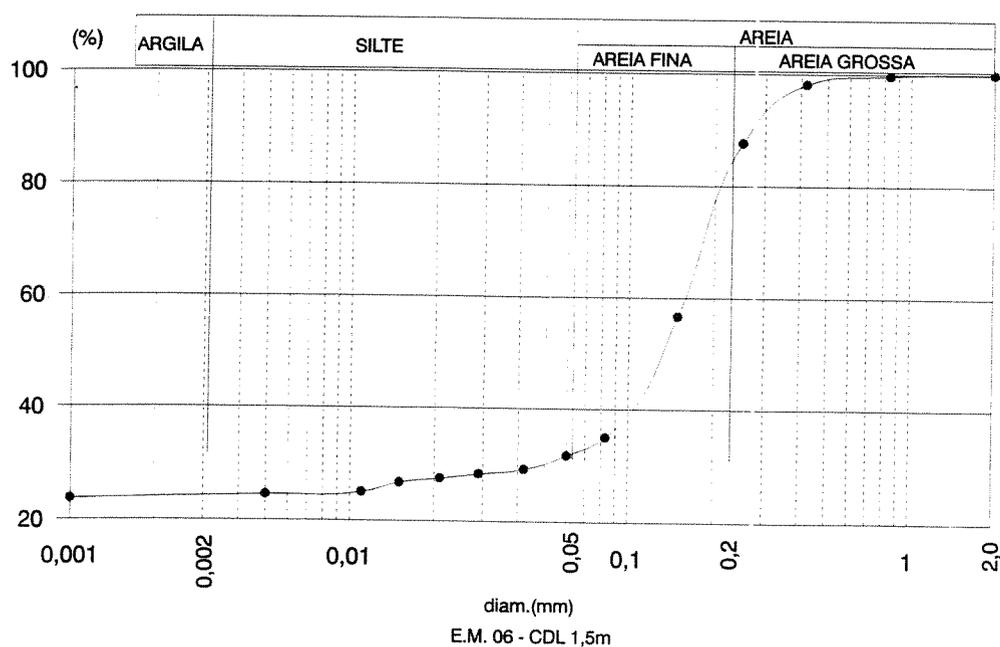


FIGURA 3.22 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 06, Caixa de Drenagem Livre 1,5 m.

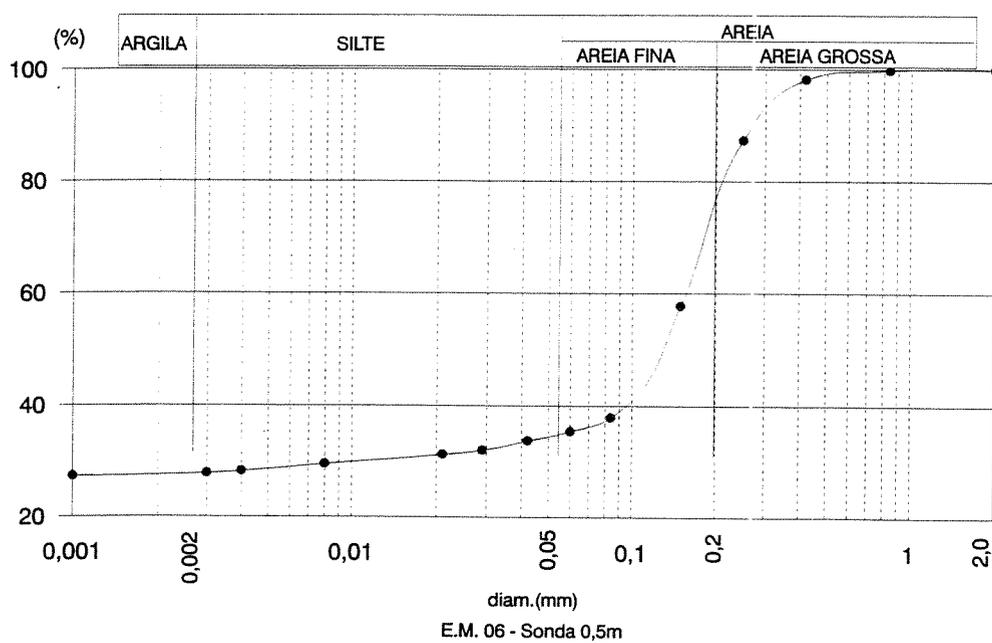


FIGURA 3.23 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 06, Sonda 0,5 m.

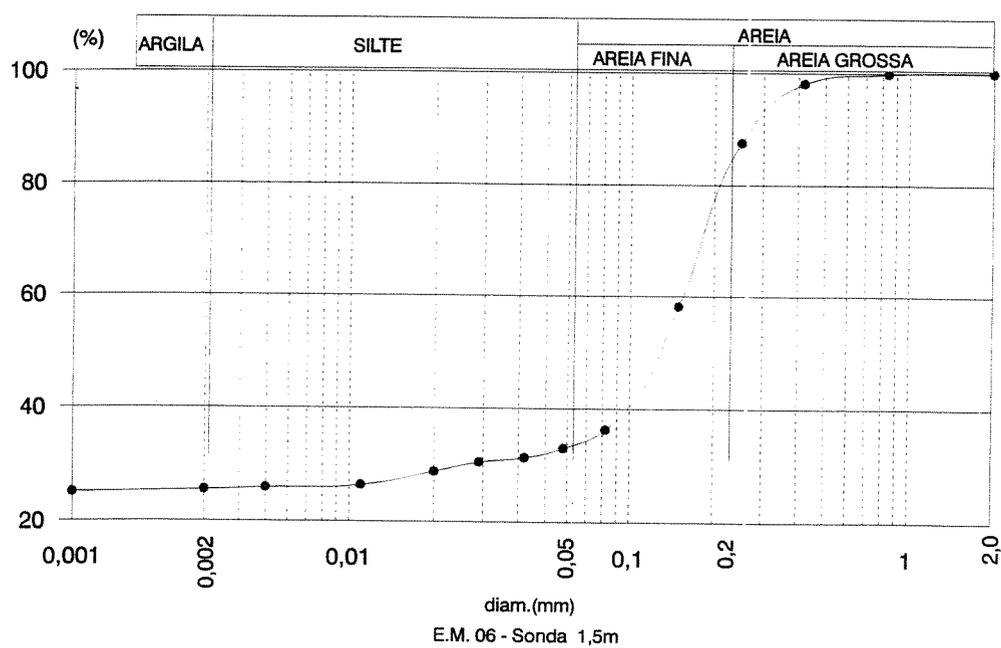


FIGURA 3.24 - Curva Granulométrica do Solo da Estação de monitoramento 06, Sonda 1,5 m.

ANEXO 04

**Resultados da Curva
Característica de Retenção da
Água do Solo**

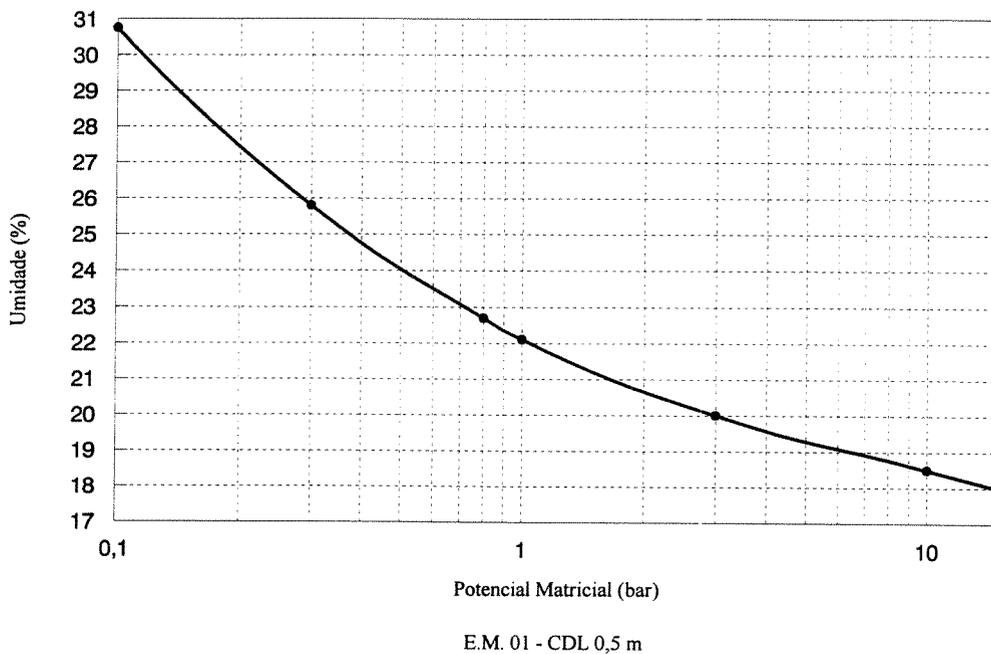


FIGURA 4.1 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 01, Caixa de Drenagem Livre 0,5 m

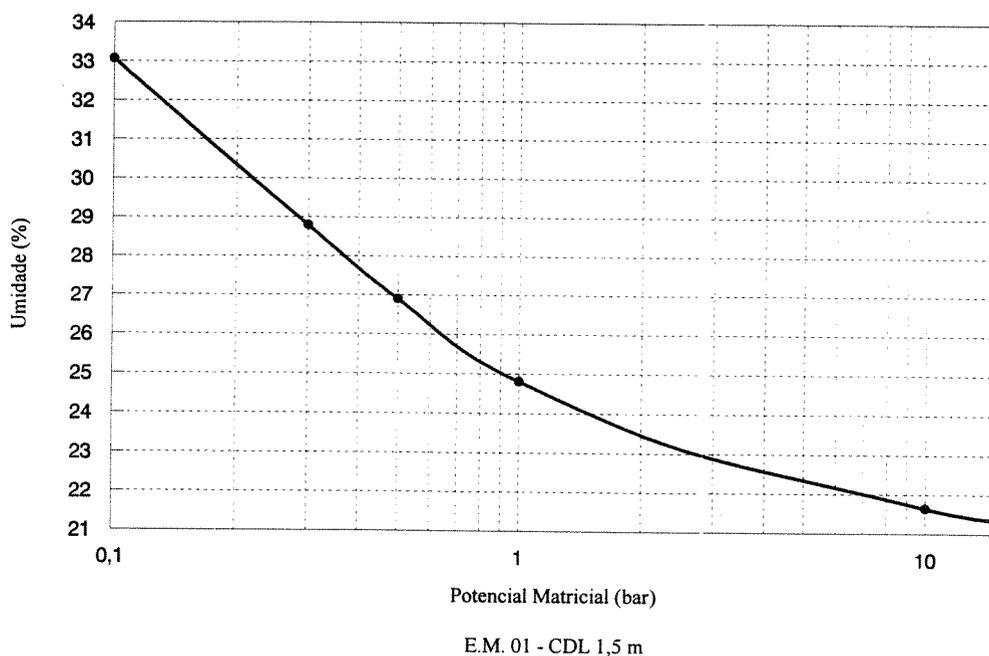


FIGURA 4.2 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 01, Caixa de Drenagem Livre 1,5 m

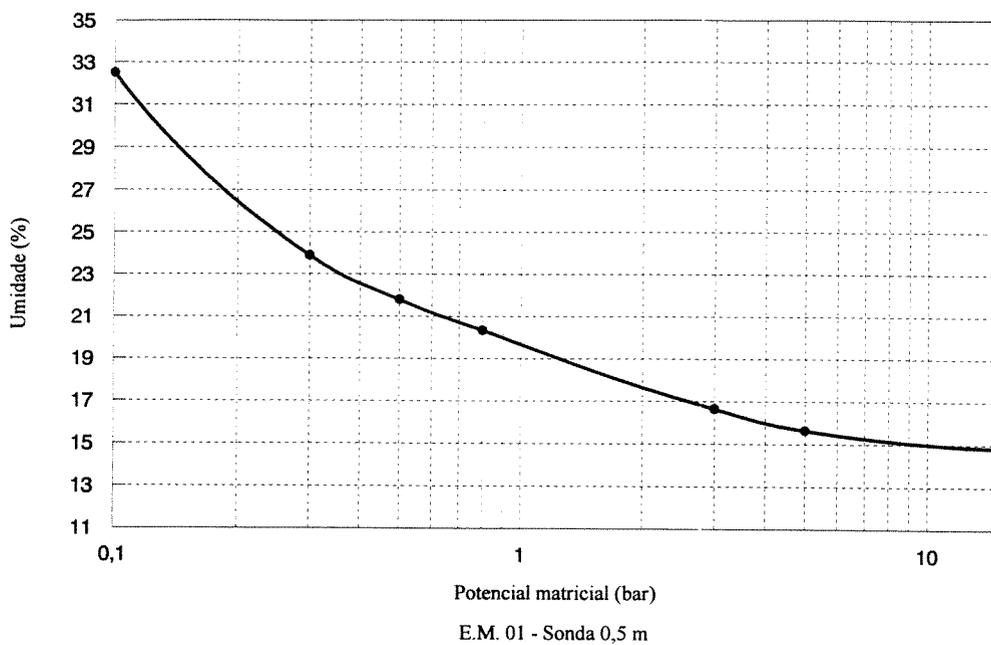


FIGURA 4.3 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 01, Sonda 0,5 m

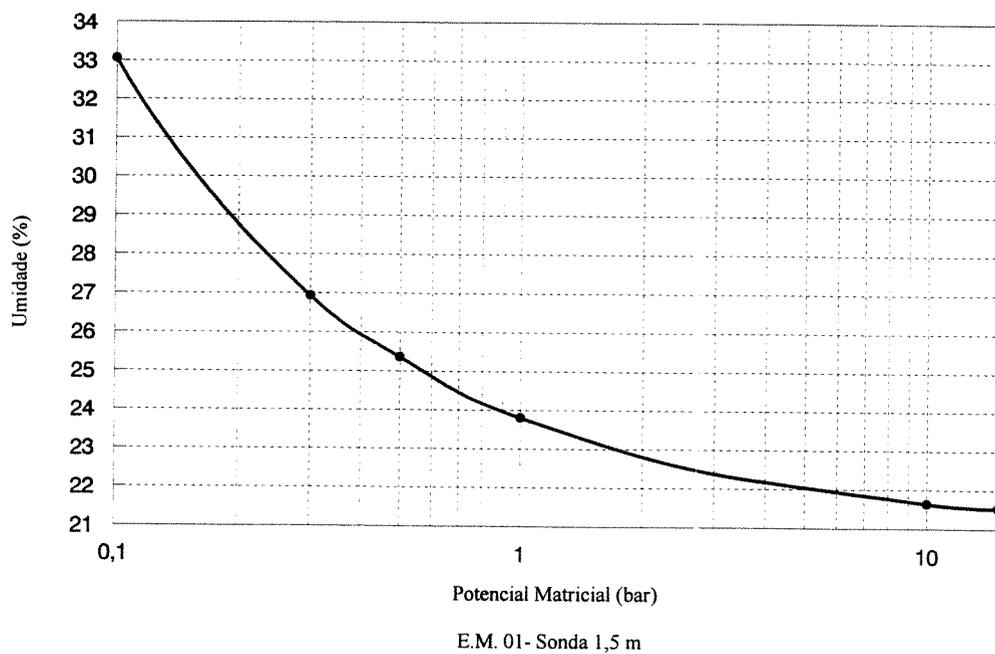


FIGURA 4.4 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 01, Sonda 1,5 m

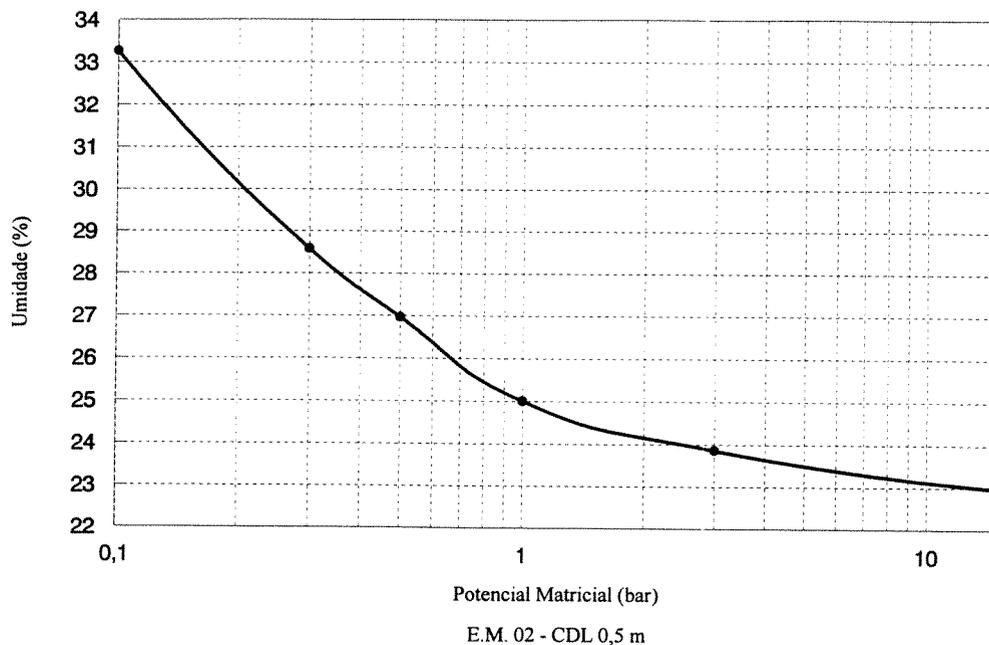


FIGURA 4.5 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 02, Caixa de Drenagem Livre 0,5 m.

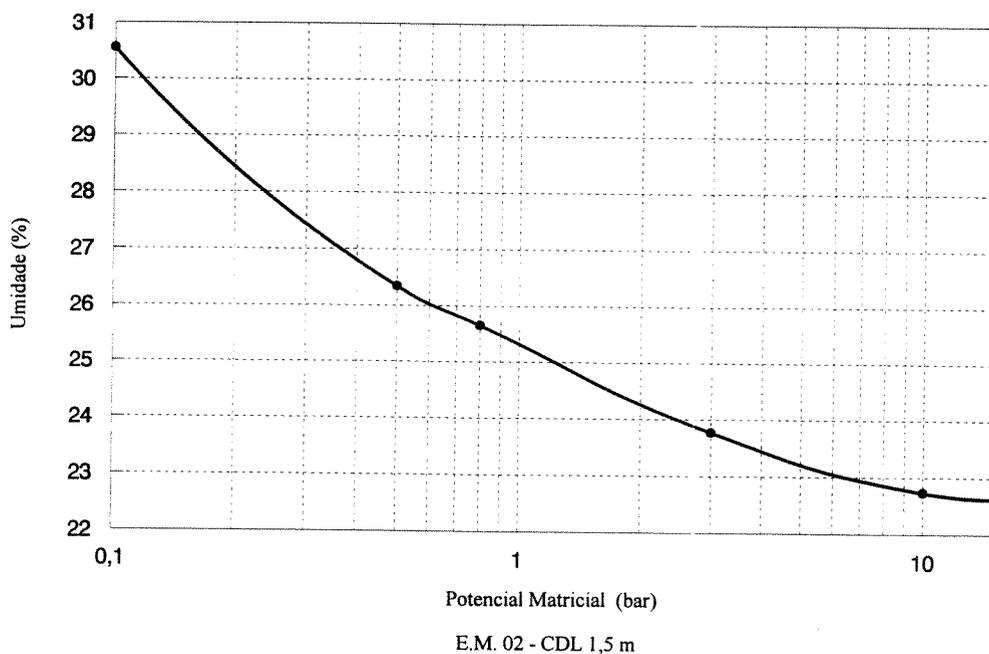
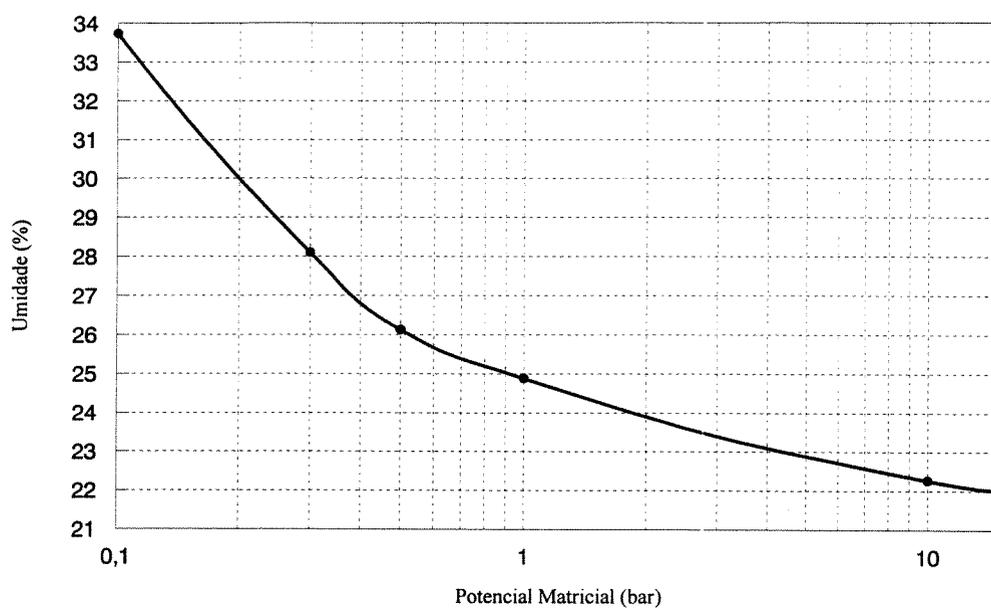
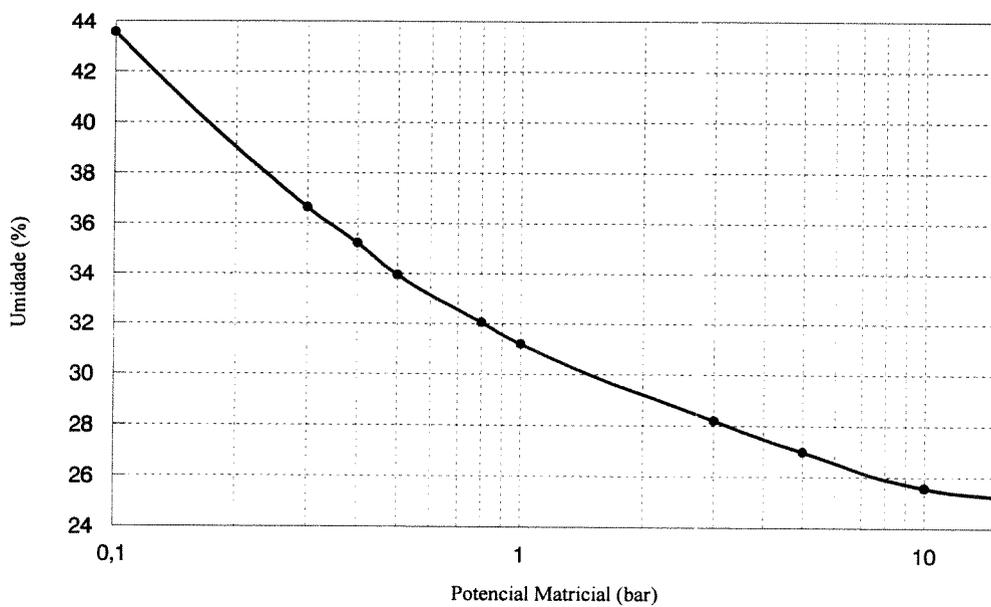


FIGURA 4.6 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 02, Caixa de Drenagem Livre 1,5 m.



E.M. 02 - Sonda 0,5 m

FIGURA 4.7 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 02, Sonda 0,5 m.



E.M. 02 - Sonda 1,5 m

FIGURA 4.8 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 02, Sonda 1,5 m.

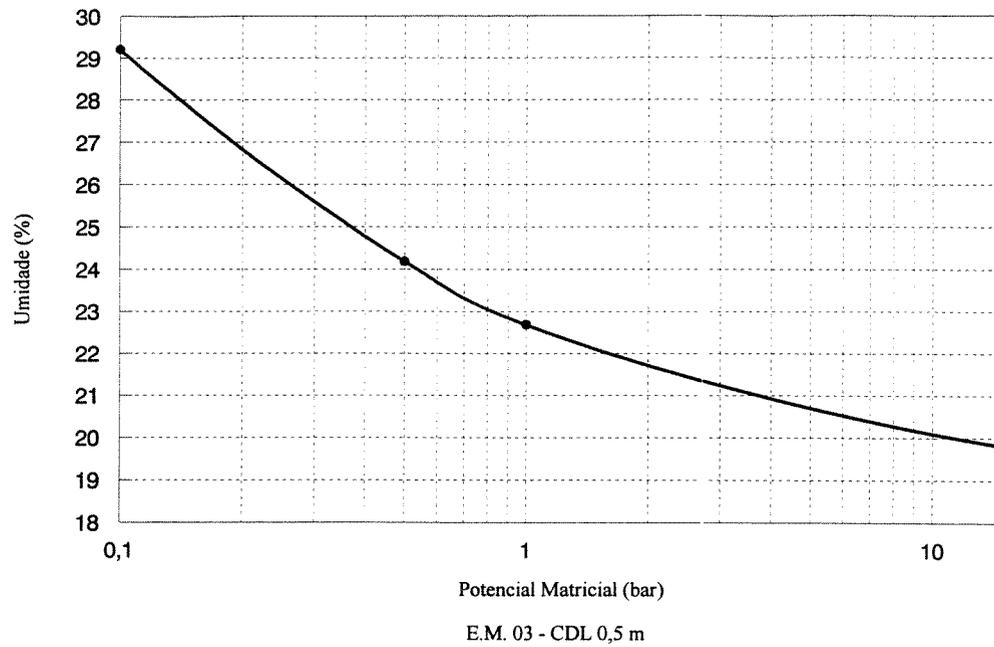


FIGURA 4.9 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 03, Caixa de Drenagem Livre 0,5 m.

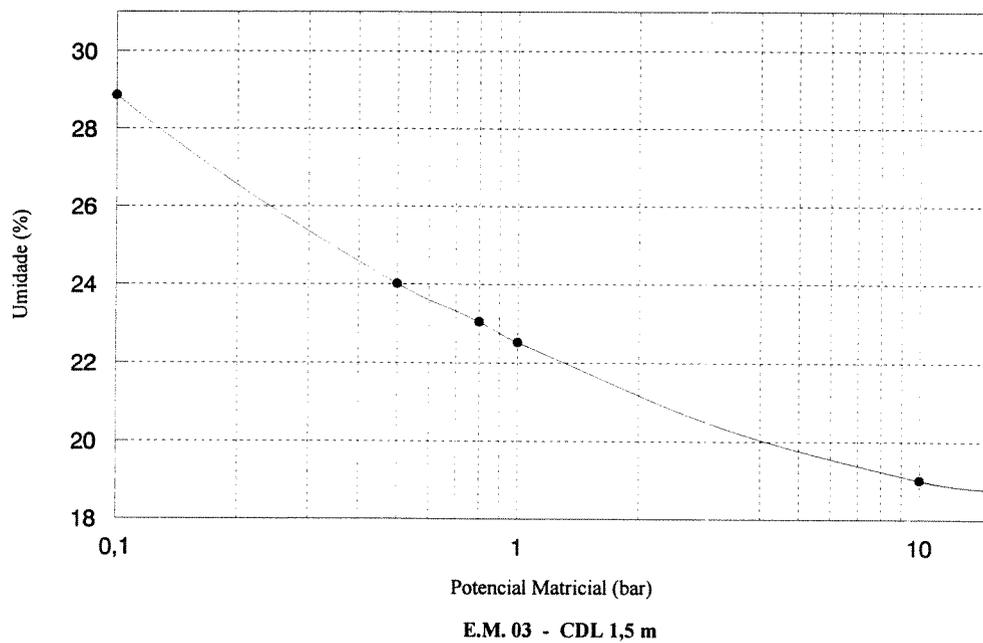


FIGURA 4.10 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 03, Caixa de Drenagem Livre 1,5 m.

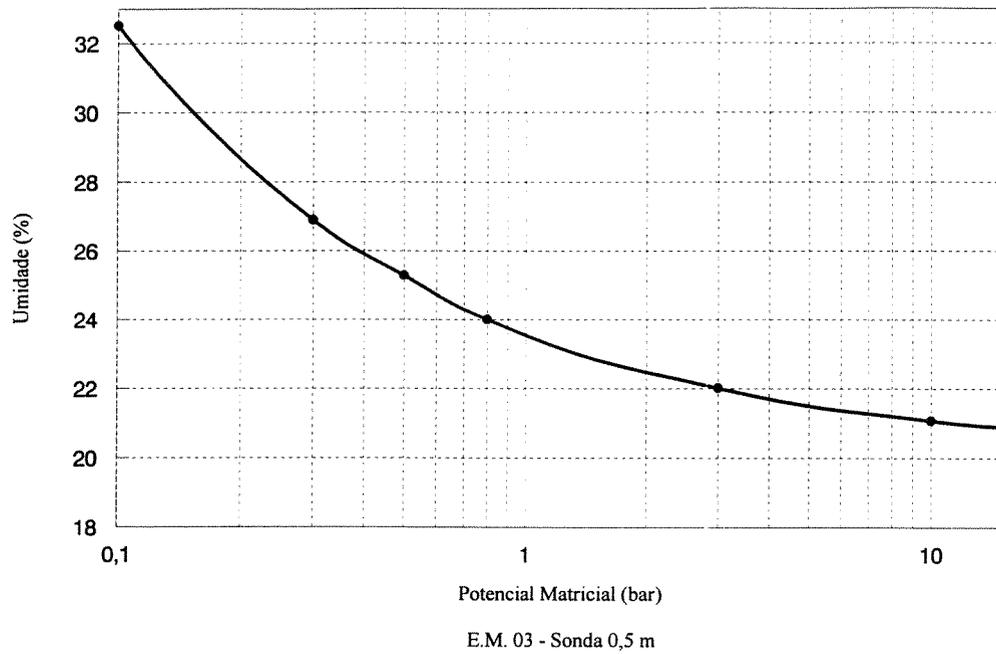


FIGURA 4.11 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 03, Sonda 0,5 m.

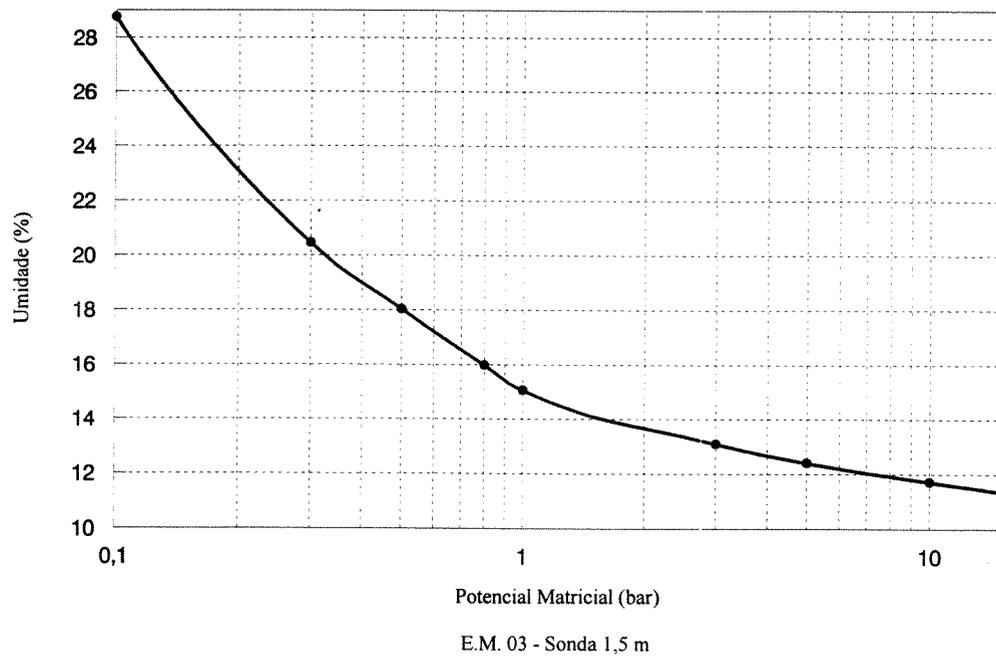


FIGURA 4.12 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 03, Sonda 1,5 m.

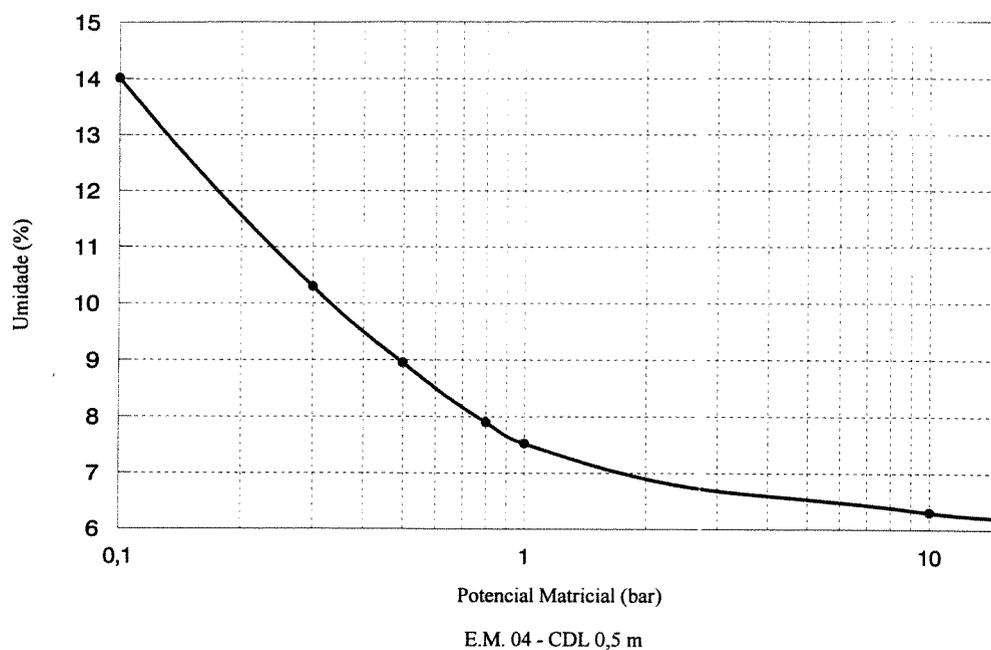


FIGURA 4.13 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 04, Caixa de Drenagem Livre 0,5 m.

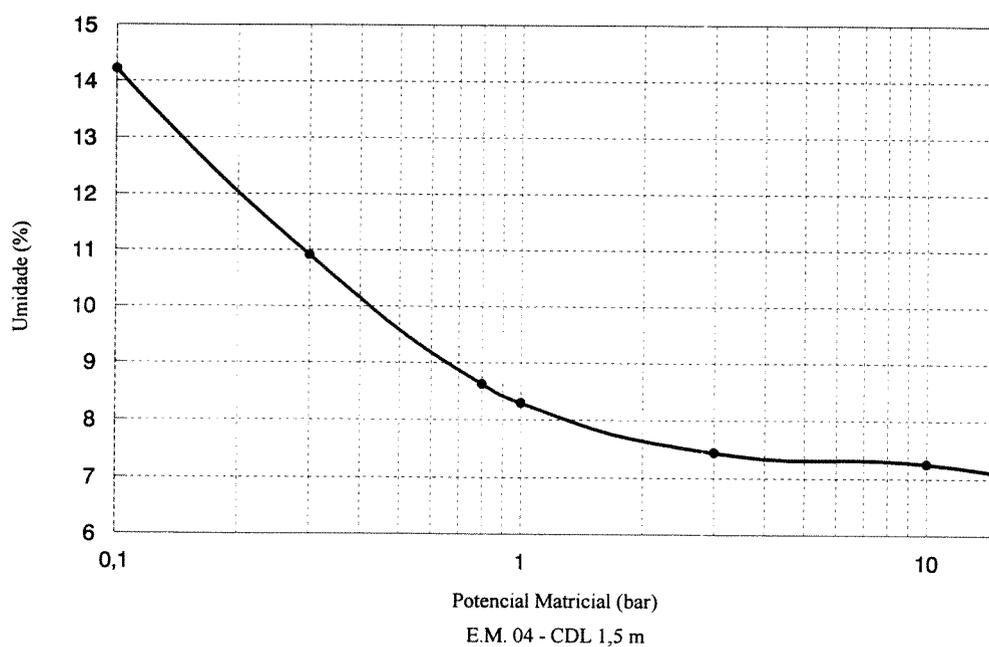


FIGURA 4.14 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 04, Caixa de Drenagem Livre 1,5 m.

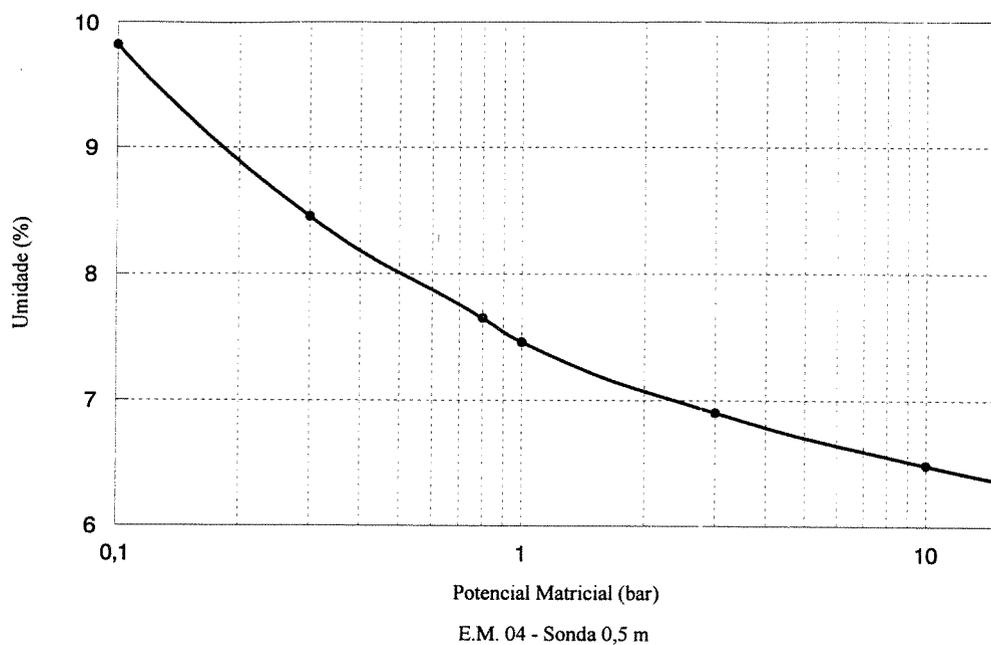


FIGURA 4.15 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 04, Sonda 0,5 m.

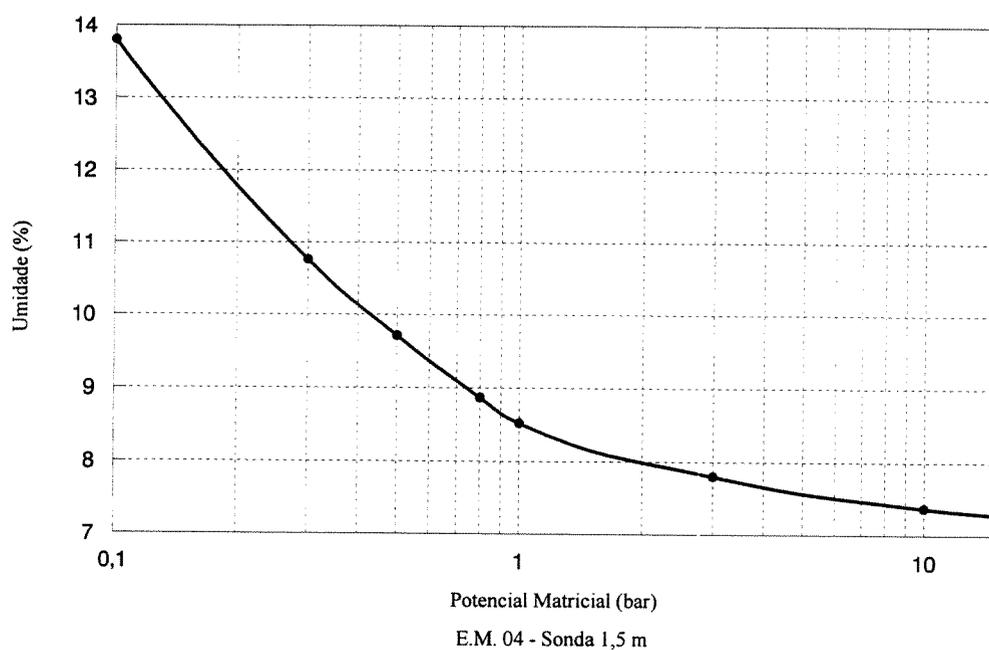


FIGURA 4.16 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 04, Sonda 1,5 m.

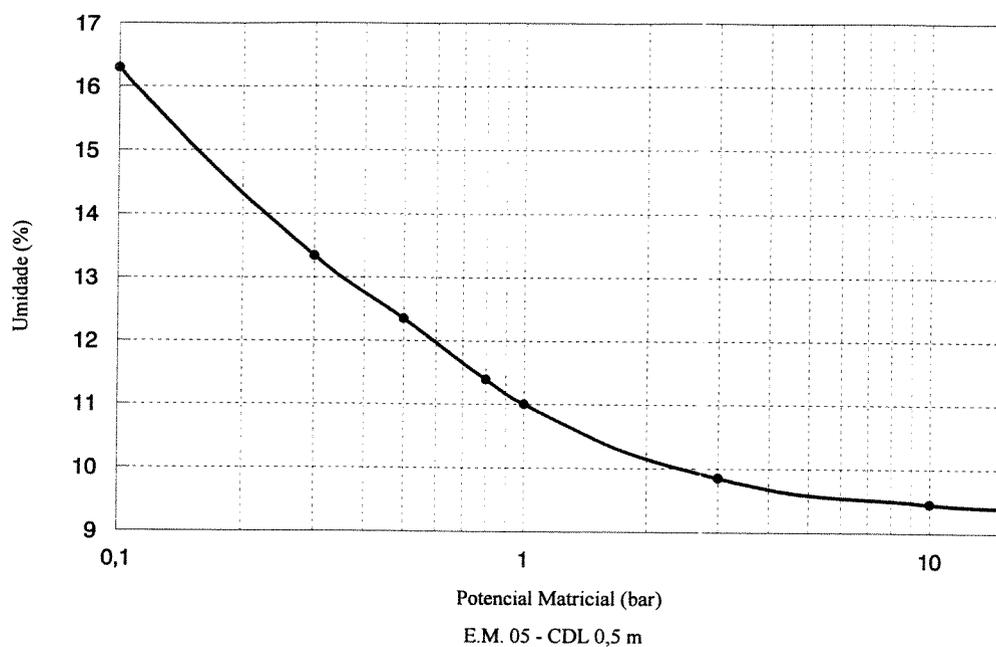


FIGURA 4.17 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 05, Caixa de Drenagem livre 0,5 m.

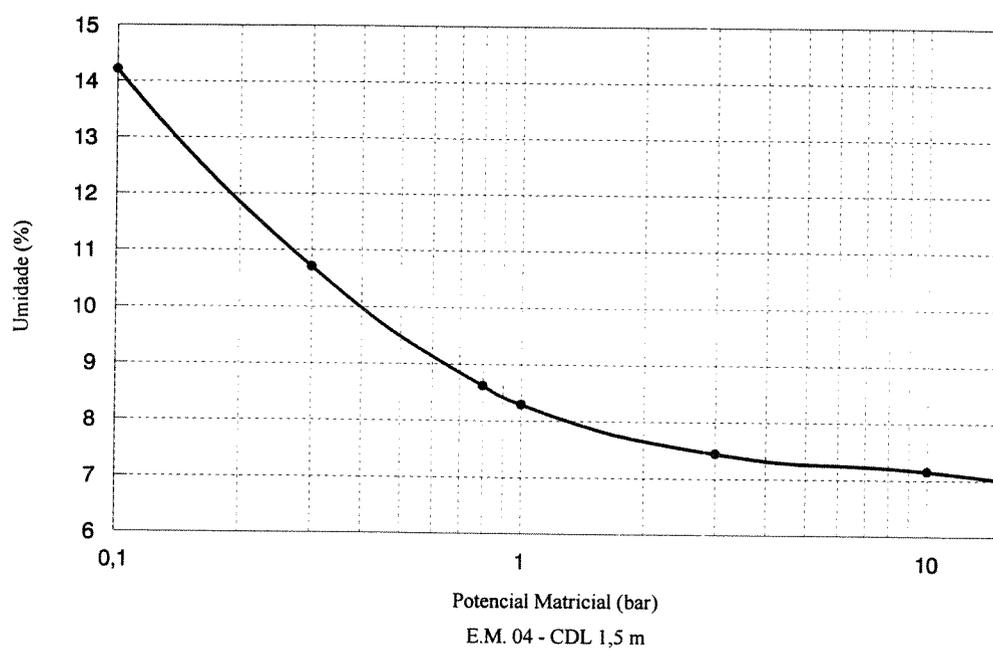


FIGURA 4.18 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 05, Caixa de Drenagem livre 1,5 m.

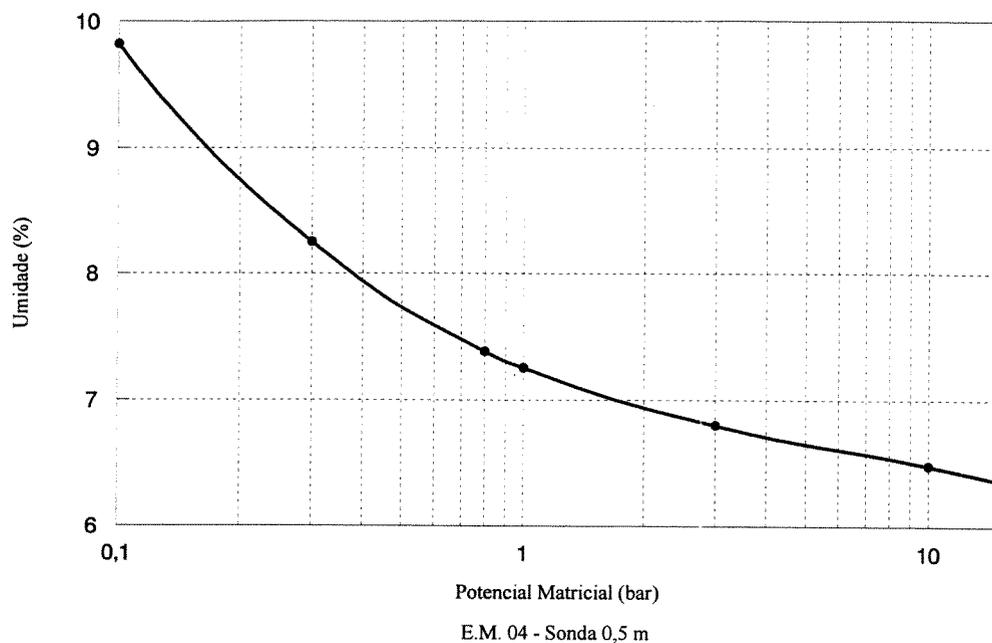


FIGURA 4.19 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 05, Sonda 0,5 m.

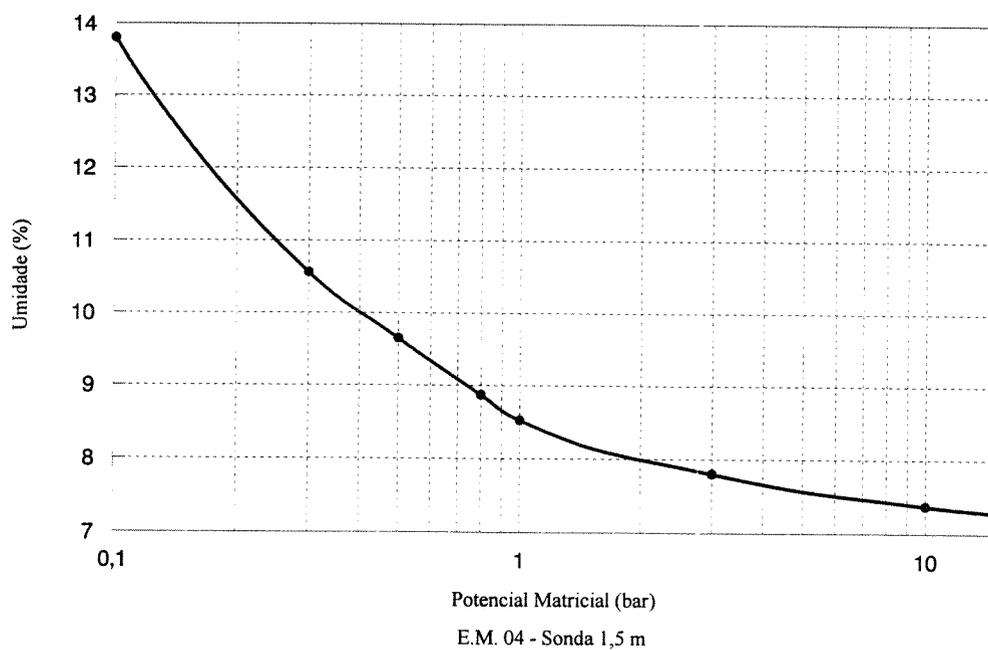


FIGURA 4.20 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 05, Sonda 1,5 m.

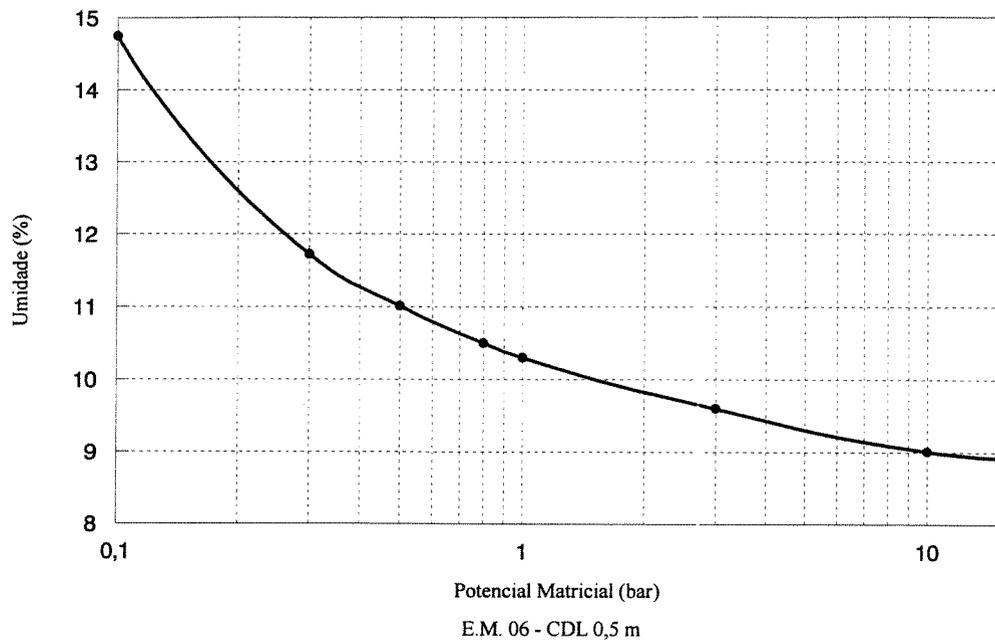


FIGURA 4.21 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 06, Caixa de Drenagem livre 0,5 m.

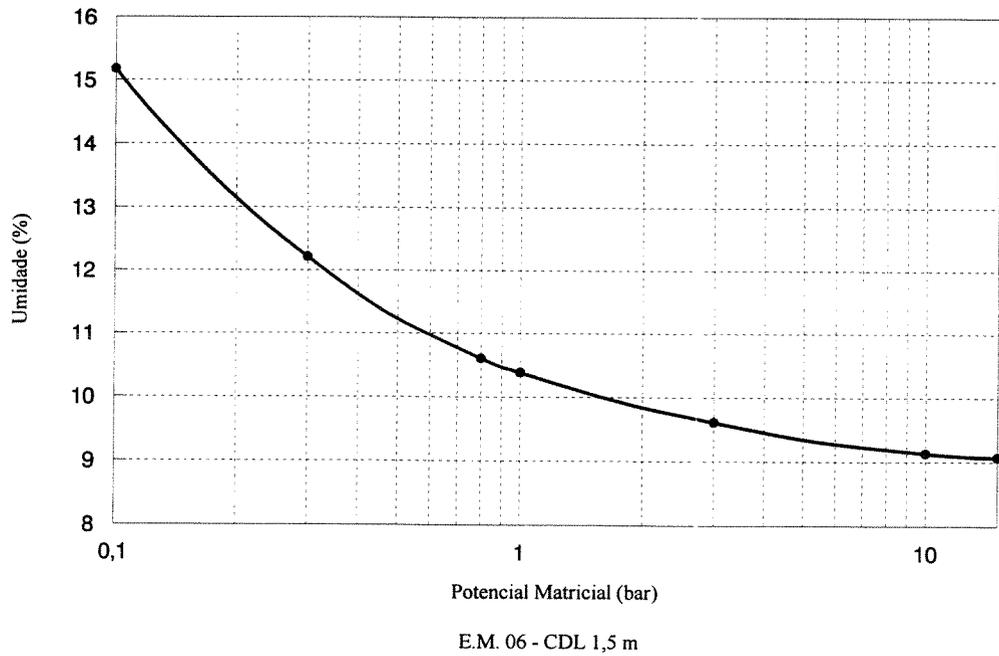


FIGURA 4.22 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 06, Caixa de Drenagem livre 1,5 m.

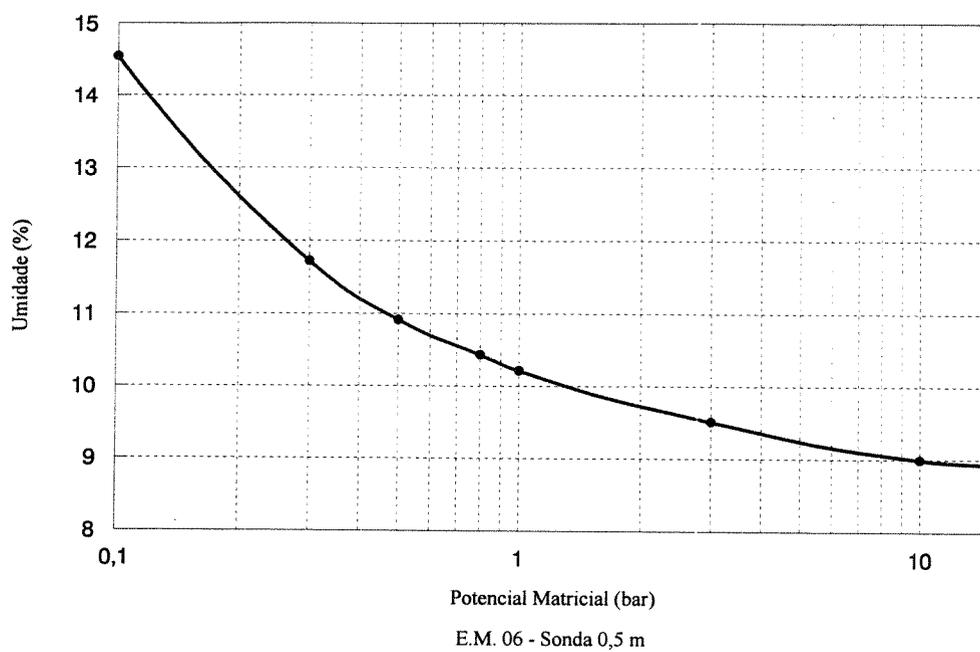


FIGURA 4.23 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 06, Sonda 0,5 m.

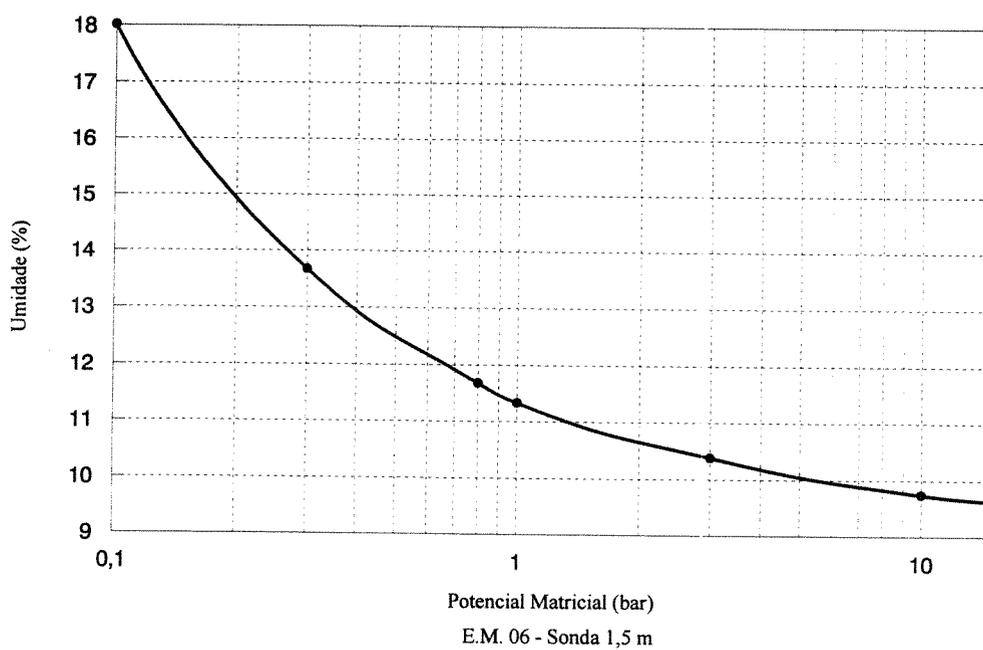


FIGURA 4.24 - Curva Característica de Retenção da Água do Solo da Estação de Monitoramento 06, Sonda 1,5 m.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁGUA subterrânea e poços tubulares; tradução da primeira edição do original norte-americano publicado pela UOP Johnson Division Saint Paul, Minesota, 2a. ed. rev. São Paulo: Cetesb, 1974, p. 3-37.
- ÁLCOOL, combustível: um desafio à estrutura agrícola. Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro, 1:14-19, Julho, 1977.
- ALEXANDER, M.. Introduction to soil microbiology. 4a. ed. New York. John Wiley, 1977. Cap. 09: Organic Matter Decomposition, p 128-147
- ALMEIDA, J.R.. O problema da vinhaça em São Paulo. Instituto Zimotécnico, Piracicaba, Boletim 03, 24p, 1952.
- ALMEIDA, J. R. O problema da vinhaça. Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro, 46(2) : 216-221, Agosto, 1955.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R.; ROSSIELLO, R.O.P.. Denitrificação e imobilização de nitrogênio em solo tratado com vinhaça. R. Bras. Ci. Solo, 7(3):263-268, 1983.
- ANDRADE, M. L.. A poluição dos cursos d'água da região da mata de Pernambuco pelo despejo de resíduos e águas servidas pelas indústrias. Boletim do Instituto Joaquim Nabuco (15):63-112, 1966.

- APHA, AWWA, WPDF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18. ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C., 1992.
- ARCEIVALA, S.J..Wastewater treatment and disposal. Engineering and ecology in pollution control. Marcel Dekker, INC. New York, NY, USA. 1981. Cap. 09:Disposal Wastes on Land. p.429-527.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W..A qualidade da água na agricultura. Tradução de H.R. Gheyi, F.F. de Medeiros, F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1991. Cap. 01: Avaliação da Qualidade da Água, p. 1-15.
- BRASIL. Portaria 36/GM. Determina os padrões de potabilidade da água. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de janeiro de 1990.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A. da S.; GERALDI, R.N.. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. B. Técn. Inst. Agron. Campinas, SP, n.76, 29 p., 1983.
- CAMARGO, O.A. de; VALADARES, J.M.A. da S.; BERTON, R.S.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; MENK, J.R.F.. Alteração de características químicas de um latossolo vermelho-escuro distrófico pela aplicação de vinhaça. B. Cient. Inst. Agron. Campinas, SP, n.09, 23 p., 1987.
- CASARINI, D.C.P.. Efeito da fertirrigação com vinhaça nas propriedades químicas e microbiológicas do solo de um sistema de disposição de efluente industrial. EESC, USP,1989. Tese (Doutorado). - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1989. 180p.
- CENTURION, R.E.B.. Impacto da agroindústria. In: Documentos IAC, Campinas, 49, p 40, 1994.

- CENTURIÓN, R. E. B.; MORAES, V. A.; PERCEBON, C. M.; RUIZ, R. T. Destinação final da vinhaça produzida por destilarias autônomas e anexas, enquadradas no programa nacional do álcool. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1989. Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, Ceará, 1989. São Paulo: CETESB. p. 07.
- CRUZ, R. L. Efeito da aplicação da vinhaça sobre o solo e a água subterrânea. EESC, USP, 1991. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991. 112 p.
- CRUZ, R. L.; RIGHETTO, A. M.; NOGUEIRA, M. A.. Experimental investigation of soil and groundwater impacts caused by vinasse disposal. Water Science and Technology, Great Britain, v 24, n 11, p 77-85, 1991.
- CUNHA, R. C. de A.; COSTA, A. C. S. da; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and the dynamics of its constituents in the soil: I - Physical and chemicals aspects. Water Science and Technology, Great Britain, vol. 19, n. 8, p. 155-156., 1987.
- FADINI, P.S.. Determinação de carbono orgânico dissolvido através da análise de injeção em fluxo. FEC, UNICAMP, 1995. Dissertação (Mestrado). - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1995. 86 p.
- FIGUEIREDO, R.F. de, VIEIRA, D. B., GENOVEZ, A. M.. Tratamento de efluente cítrico líquido pelo processo de irrigação por aspersão. In: 16^o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA e AMBIENTAL, 1991, Goiânia. Anais do 16^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, Go., 1991. vol. 2, Tomo IV p. 460 - 475.
- GLOEDEN, E. Monitoramento da qualidade da água das zonas não saturada e saturada em área de fertirrigação com vinhaça. I.G., USP, 1994. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geologia, Universidade de São Paulo, 1994. 158 p

- GLOEDEN, E.; CUNHA, R. C. A.; FRACCAROLI, M.J.B. and CLEARY, R. W. The behavior of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. Water Science and Technology. Great Britain, vol. 24, n. 11, p. 147/157., 1991.
- GOMES, H.P.. Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. João Pessoa: Ed. Universitária / UFPB, 1994. Cap. 01: Aspectos Agronômicos Básicos, p 13-41.
- HASSUDA, S. Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru. IG, USP, 1989. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geologia, Universidade de São Paulo, 1989, 92 p.
- KIEHL, E.J.. Manual de edafologia. Ed. Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, 1979. Cap. 05: Densidade Apararente, p. 76-88.
- KIRZNER, J. 1981. Algumas considerações sobre o vinhoto. A Tarde, Salvador, 5 Junho, Caderno Econômico. p.2.
- LEAL, J.R., AMARAL SOBRINHO, N.M.B., VELLOSO, A.C.X., ROSSIELLO, R.O.P.. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. Rev. Bras. Ci. Solo. Vol. 7:257-261, 1983.
- LIMA, V. A. Possibilidade de reaproveitamento econômico de vários tipos de resíduos. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1969. Anais do Simpósio sobre Resíduos da Industrialização da Cana-de-Açúcar. Centro Tecnológico de Saneamento Básico, São Paulo, 1969.
- LOBATO, E.J.V.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A.. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo distrófico tratado com vinhaça. In: 13^o CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO "SOLO-SUELO 96", Águas de Lindóia, São Paulo, 1996. CD-Rom.

- LOEHR, R.C. Agricultural waste management: problems, processes and aproachs. Academic Press, Inc, New York, 1974. Cap. 10: Wastewater soil disposal. p. 353-390.
- MANUAL Global de Ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente. / editado por Walter H. Corson; [tradução Alexandre Gomes Camaru]. - São Paulo: AUGUSTUS, 1993. Cap. 09: Águas Doces. p:155-173.
- MATTIAZO, M.E., GLÓRIA, N.A. da. Effect of vinasse on soil acidity. Water Science and Technology. Great Britain, vol. 19, p. 1293-1296, 1987.
- NOUR, E. A . Tratamento de efluentes de uma indústria cítrica pelo processo de escoamento superficial no solo. FEC, UNICAMP, 1990. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1990. 159 p.
- NUNES, M.R., VELLOSO, A.C.X, LEAL, J.R.. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. Pes. Agropec. Bras. Brasília, 16(2):171-176, Março, 1981.
- OGERA, R. Remoção de Nitrogênio do Esgoto Sanitário pelo Processo de Lodo Ativado por Batelada. FEC, UNICAMP, 1995. Dissertação (Mestrado). - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1995. p. 48.
- ONDE Colocar todo o vinhoto do Proálcool. Química e Derivados, São Paulo, 184: 44-47, 1981
- ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C. de; ALVES, M.C..Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. STAB, 13(6):14-16, Julho-Agosto, 1995.

- PASQUINI, C. & FARIA, L.C. DE. Flow injectiondetermination of ammonia in Kjeldahl digestion by gas diffusion and conductometry. Analytica Chimica Acta, Amsterdam, 193:19-27, 1987.
- PONNAMPERUMA, F.N..The chemistry of submerged soils. Adv. in Agron, Philippines, 24:29-96, 1972.
- PENATTI,C.P.; CAMBRIA, S.; BONI, P.S.; MANOEL, L.A.. Efeitos de aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. Boletim Técnico Copersucar, n.44, p.32. 1988.
- POLUIÇÃO do solo e aquífero subterrâneo pela vinhaça infiltrada sob tanques de armazenamento. São Paulo:CETESB, Maio, 1994, p. 16.
- POWER, J. F.; SCHEPERS, J. S.. Nitrate concentration of groundwater in North America - Agriculture Systems and Environment, 26: 165-187, 1989.
- RANZANI, G.. Consequências da aplicação de estercó ao solo. Anais da Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, vol. 12:57-68, 1956.
- REBOUÇAS, A.C.; BATISTA, R.P.; HASSUDA, S.;CUNHA, R.C.A.; POPPE, L.P..1989. Efeitos da infiltração de vinhoto no aquífero Bauru. Resultados Preliminares. 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS. Anais: 4º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - ABAS p.184 - 194 - Brasília.
- REDDY, K.R.; PATRICK JR, W.H.. Losses of applied Ammonium N, Urea N and Organic N in flooded soils. Soil Science, 130(6):326-330, December 1980.
- REZENDE, J. de O.. Consequências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo aluvial: estudo de um caso. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, 1979, 112p.

- REZENDE, J. de O. Vinhaça: outra grande ameaça ao meio ambiente. Revista Magistra.Ed. Especial. Universidade Federal da Bahia, Escola de Agronomia. Cruz das Almas, BA. p.34-148, Junho, 1984
- RIBEIRO, A.C.; NOVAIS, R.F. de; BAHIA FILHO, A.F. de C.. Efeitos da vinhaça sobre a dispersão de argila de amostras de latossolos. Rev. Ceres. Vol. 30(167):12-18, 1983.
- ROSSIELLO, R.O.P.; FERREIRA, W.A.; FERNANDES, M.S..Resposta de milho à salinidade do solo induzida por aplicação de vinhaça. II. Produção de carboidratos solúveis e absorção de nitrogênio. . Rev. Bras. Ci. Solo. Vol. 5:176-181, 1981.
- SABADIA, J.A.. Impactos da estocagem de vinhaça e das águas de lavagem da cana-de-açúcar nos domínios do aquífero Bauru-Dobrada-São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo. 1994. 123 p.
- SANTANA, S. S. Economicidade da Aplicação de Vinhaça em Comparação à Adubação Mineral. Álcool e Açúcar, Vol. 05, n. 23, p. 1-58, Julho/Agosto, 1985.
- SÃO PAULO. Conselho estadual de recursos hídricos. Plano estadual de recursos hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo. Água Subterrânea. São Paulo, DAEE, 1990. p. 41-42.
- SILVA, M. A. da; SILVA, G. L. da. Utilização agrícola da vinhaça e demais efluentes líquidos. Álcool e Açúcar, n. 31, Nov./Dez., 1986. p. 12-14.

- SIMABUCO, S.M., NASCIMENTO FILHO, V.F., VIEIRA, D. B., LUDOVICE, M.T.F..Determinação de elementos traços em água de percolação em solos submetidos a aplicação de vinhaça empregando a fluorescência de raios X por dispersão de energia. 6^o CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR. Rio de Janeiro,1996. CD-Rom.
- SPEIDEL, D. H. & AGNEW, A. F. ."The World Water Budget", in Speidel et al., (eds.), *Perspectives on Water Uses and Abuses* (New York: Oxford University Press, 1988), Table 3.1, p.28.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, "Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater", Center for Environmental Research Information, EPA 625/1-81-013, October 1981.
- VALSECHI, O. Alguns aspectos do problema da vinhaça. Revista Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro, n. 05. p. 62. Novembro, 1955
- VENHUIZEN, D.. Soil treatment mechanisms - An analysis of the potential impacts on groundwater quality of on-site wastewater management using alternative management methods . Internet <http://klingon.util.utexas.edu/VenhSoilTreat/Soil>. October, 1995.
- VIEIRA, D.B. Avaliação da interceptação hidrológica e do efeito da vinhaça em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Tese de livre docência. Faculdade de Engenharia de Limeira, Unicamp, 1983, 124 p.
- VIEIRA, D. B. Fertirrigação sistemática da cana-de-açúcar com vinhaça. Álcool e Açúcar, n. 28, maio/junho 1986.
- VIEIRA, L.S., SANTOS, P.C.T.C. dos, VIEIRA, M. de N.F..Solos: propriedades, classificação e manejo. Brasília, MEC/ABEAS, 1988. 154 p. (Programa Agricultura nos Trópicos, V.2).