NATHALIA POZZI ARCARO

QUALIDADE DO SOLO EM LOCAIS DE DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA – ASSENTAMENTO SEPÉ TIARAJU – SERRANA - SP

CAMPINAS
2013

NÚMERO: 459/2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

NATHALIA POZZI ARCARO

QUALIDADE DO SOLO EM LOCAIS DE DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA – ASSENTAMENTO SEPÉ TIARAJU – SERRANA - SP

ORIENTADORA: PROFA. DRA. SUELI YOSHINAGA PEREIRA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do Título de Mestra em Geociências na Área de Geologia e Recursos Naturais

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA NATHÁLIA POZZI ARCARO E ORIENTADA PELA PROFA. DRA SUELI YOSHINAGA PEREIRA

_____

CAMPINAS

2013

© by Nathalia Pozzi Arcaro, 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
CÁSSIA RAQUEL DA SILVA – CRB8/5752 – BIBLIOTECA "CONRADO PASCHOALE" DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNICAMP

Unidade BC
T/UNICAMP
Cutter Ar21q
V. Ed.
Tombo BC 490286
Proc. 16.94.13
C D
Preço R$ 11,00
Data 30/04/13
Cód. bit. 902138

Ar21q

Arcaro, Nathalia Pozzi, 1983-
Qualidade do solo em locais de disposição de vinhaça – assentamento Sepé Tiarajú – Serrana -SP / Nathalia Pozzi Arcaro-- Campinas, SP.: [s.n.], 2013.

Orientador: Sueli Yoshinaga Pereira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Contaminação. 2. Efluente industrial. 3. Solo. I. Pereira, Sueli Yoshinaga, 1961- II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências III. Título.

Informações para a Biblioteca Digital

Título em inglês: Soil quality in places of Vinasse – Settlement of Landless Agricultural Laborers Sepé Tiarajú, Serrana – SP.
Palavras-chaves em inglês:
Contamination
Industrial effluent
Solo
Área de concentração: Geologia de Recursos Naturais
Titulação: Mestra em Geociências.
Banca examinadora:
Sueli Yoshinaga Pereira (orientador)
Alexandre Campane Vidal
Rafaella Rossetto
Data da defesa: 31-01-2013
Programa de Pós-graduação em: Geociências

UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS NA
ÀREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

AUTORA: Nathalia Pozzi Arcaro

"Qualidade do solo em locais de disposição de vinhaça – Assentamento Sepé Tiaraju – Serrana - SP."

ORIENTADORA: Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Aprovada em: 31 / 01 / 2013

EXAMINADORES:

Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira _____ - Presidente

Profa. Dra. Raffaella Rossetto _____

Prof. Dr. Alexandre Campane Vidal _____

Campinas, 31 de janeiro de 2013

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família pelo
amor, momentos que passamos juntos, e
por serem a base da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Irineu e Juliana, minha tia Cláudia, meus avós Décio e Lúcia e meu irmão João por sempre estarem ao meu lado e me apoiarem em todas as decisões da minha vida, pelos ensinamentos e princípios que me foram passados e por todo amor.

À minha orientadora Prof. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira pela orientação, ensinamentos transmitidos, longas conversas, compreensão, amizade e por aceitar me orientar no doutorado.

Ao meu namorado Ernesto pelo amor, companheirismo, apoio e pela enorme paciência.

À UNICAMP, a Lúcia dos Santos Carvalho, a Aparecida Vendemiatto, ao Aloísio Cotta e Margareth Sugano pela ajuda com as análises no laboratório.

A Valdirene e Maria Gorete da secretaria de Pós-graduação por toda a ajuda.

Ao Mateus e Moisés, proprietários da Sondamar, por entenderem a importância deste trabalho para mim e permitirem que eu me ausentasse da empresa todas as vezes que precisei.

Ao Prof. Dr. Alexandre Campane Vidal e Prof. Dra. Jacinta Enzweiler pelas contribuições dadas no exame geral de qualificação.

Ao INCRA e moradores do Assentamento Sepé Tiarajú por permitirem a realização deste trabalho no assentamento, em especial ao Sr. Elias pela ajuda e pelo apoio durante as etapas de campo.

Ao Élcio pela disponibilidade em ir para o campo e ajudar em tudo que fosse necessário.

Ao CNPQ e FAPESP pelo suporte financeiro.

BIOGRAFIA

Nathália Pozzi Arcaro

Nascida em 15 de dezembro de 1983, na cidade de Americana-SP, ingressou no curso de Geologia em 2003 no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, depois de ter frequentado o Instituto Salesiano Dom Bosco no ensino fundamental e médio. Obteve o título de Bacharel em Geologia em 2008, sendo seu Trabalho de Conclusão de Curso orientado pelo Prof. Dr. Miguel Angelo Stipp Basei, com o título: *Análise isotópica de Sr, Nd e Pb do Grupo Itajai, na região entre Timbo e Ilhota.* Em 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Geociências na modalidade de Mestrado pela Universidade Estadual de Campinas, com orientação da Profª. Drª. Sueli Yoshinaga Pereira. Durante esse período publicou resumos expandido em anais de Congressos e periódicos:

PEREIRA, S. Y. ; **ARCARO, N.** ; MORTATTI1, B. C. ; MIGUEL1, M. G. Distribuição em profundidade dos elementos. Revista Aguas Subterrâneas, v. 26, p. 113-130, 2012.

ARCARO, N.P.; PEREIRA, S.Y.; MORTTATTI, B.C.; MIGUEL, M.G. Situação das águas subterrâneas em antiga área com disposição de vinhaça – Serra Azul, SP, 2011, São Paulo. In 13º Congresso brasileiro de Geologia de Engenharia Ambiental, São Paulo, v.1.p.1-10, 2011.

ARCARO, N. P. ; PEREIRA, S. Y. ; MIGUEL1, M. G. ; AGUIAR, D. . Study of soil contaminated by vinasse applying leach test methods. In: XXXVIII IAH Congress - Groundwater Quality Sustainability, 2010, Cracóvia. XXXVIII IAH Congress - Groundwater Quality Sustainability. PPHU TOTEM: Cracóvia.. v. 2. p. 240-242, 2010.

PEREIRA, S. Y. ; MIGUEL1, M. G. ; MORTATTI1, B. C. ; **ARCARO, N.** . Actual situation of groundwater quality downstream of an old vinasse satirage tank, in Serra Azul Municipality, São Paulo state, Brazil. In: 34th International Geological Congress, v.1, p.524, Brisbane, Australian, 2012.

Recentemente, teve aprovação de apresentação de trabalho no 4 th MoniQA International Conference, 26 February - 1 March 2013, Budapest, Hungary. Soil mycoflora from vinasse disposal sites in the Sepé Tiaraju settlement, Serrana, São Paulo, Brazil.

Atualmente atua na área de hidrogeologia voltada para a área de prospecção de água subterrânea, contaminação de solo e águas subterrâneas, e foi aprovada para o curso de doutorado na Universidade Estadual de Campinas com o projeto de avaliação da qualidade da água subterrânea e solo em áreas com disposição de vinhaça, sob orientação da Profª. Drª. Sueli Yoshinaga Pereira.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

QUALIDADE DO SOLO EM LOCAIS DE DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA – ASSENTAMENTO SEPÉ TIARAJU – SERRANA - SP

RESUMO
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nathalia Pozzi aAcaro

A vinhaça constitui um efluente proveniente da indústria sucro-alcooleira, utilizado principalmente na fertirrigação de lavouras de cana-de-açúcar, por. Contudo, diversos trabalhos indicam que a aplicação e disposição de vinhaça em solo ocasionam a contaminação destes meios por sais e metais, além de proporcionar a alteração de características físico-químicas e biológicas do solo. O objetivo do presente estudo visou avaliar a qualidade do solo em um tanque/lagoa de disposição de vinhaça, sem impermeabilização, e que foi utilizada por 20 anos e há 8 anos se encontra inativo. Foram realizadas 2 sondagens dispostas no interior do tanque de vinhaça e em uma área de background com profundidades de 24 e 32 metros. As amostras de solo foram coletadas em intervalos de 1 metro até o nível d'água. As análises de solo foram realizadas por fluorescência de raios x para determinação das frações em massa de óxidos e elementos traços, além de ensaios de perda ao fogo e análise microbiológica de solo para fungos e leveduras. Também foram realizados ensaios de lixiviação com água deionizada e ácido nítrico , analisadas por cromatografia e ICP-MS. Os resultados das amostras de solo e dos ensaios de lixiviação indicam que as amostras de solo coletadas no interior do tanque de vinhaça apresentaram indícios de salinização em comparação com as amostras de solo de controle. Os resultados das análises microbiológicas indicaram a diferença entre o número de isolamentos de unidades formadoras de colônia entre as amostras coletadas no interior do tanque de vinhaça e as amostras de controle. Concluiu-se que o solo do antigo tanque/lagoa avaliado ainda apresenta os efeitos da disposição inadequada de vinhaça, que interfere nas propriedades químicas e microbiológicas do solo.

Palavras chaves: contaminação, efluente, solo

UNIVERSITY OF CAMPINAS
INSTITUTE OF GEOSCIENCE

SOIL QUALITY IN PLACES OF VINASSE - SETTLEMENT OF LANDLESS AGRICULTURAL LABORERS SEPÉ TIARAJÚ, SERRANA- SP.

ABSTRACT
MASTER'S DISSERTATION

Nathalia Pozzi Arcaro

The vinasse is an effluent from the ethanol industry, mainly used in fertirrigation of crops of sugar cane. However, several studies indicate that the application and disposal of vinasse on soil cause the contamination by salts and metals, in addition to providing the change of physical, chemical and biological soil properties. The aim of this study was to evaluate the quality of the soil in a vinasse dam without impermeabilization, that was used for 20 years and it's inactive for 8 years. Two boreholes were drilled in the vinasse dam and in a background area at depths of 24 and 32 meters.
Soil samples were collected at one meter interval until the depth of the water level. Soil analyses were performed using XRF method to determine the mass fractions of oxides and trace elements, as well as loss on ignition test and microbiological analysis of soil for fungi and yeasts. Also leaching tests were performed with deionized water and nitric acid, and the leachates were analyzed by chromatography and ICP-MS. The results of the soil samples and leach tests indicated that the leaching of soil samples collected inside the vinasse dam showed evidence of salinization compared to control soil samples. The results of the microbiological analyses indicated a difference between the number of isolated colony forming units among samples collected in the vinasse dam and control samples. It was concluded that the soil of the old vinasse dam still shows the effects of improper disposal of vinasse, which interferes with chemical and microbiological properties of the soil.

Keywords: pollution, effluent, soil

SUMÁRIO

RESUMO ix
ABSTRACT x
LISTA DE TABELAS xiii
LISTA DE FIGURAS xv
1 INTRODUÇÃO 1
2 OBJETIVOS 2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
3.1 Caracterização da vinhaça 4
3.2 Utilização da vinhaça 7
3.3 Contaminação do solo 8
3.4 Impacto da vinhaça na microbiota do solo 11
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 12
4.1 Caracterização pedológica e geomorfológica 14
4.2 Geologia regional 15
4.2.1 Formação Pirambóia 16
4.2.2 Formação Botucatu 16
4.2.3 Formação Serra Geral 16
4.3 Hidrogeologia regional 17
5 MATERIAIS E MÉTODOS 19
5.1 Sondagem e amostragem de solo 19
5.2 Ensaios em amostras de solo 20
5.2.1 Fluorescência de raios x (FRX) e ensaio de perda ao fogo 20
5.2.2 Ensaios de Lixiviação 22
5.2.3 Análises microbiológicas (fungos e leveduras) 22
5.3 Delineamento experimental e análise estatística 24
6 RESULTADOS 26
6.1 Sondagem e amostragem de solo 26
6.2 Ensaios em amostras de solo 26
6.2.1 Fluorescência de raios x e ensaios de perda ao fogo 26

6.2.2 Ensaios de Lixiviação 43
6.2.3 Análises microbiológicas (fungos e leveduras) 62
7 DISCUSSÃO 70
7.1 Fluorescência de Raios x e ensaios de perda ao fogo 70
7.2 Ensaios de Lixiviação 72
7.3 Análises microbiológicas (fungos e leveduras) 74
8 CONCLUSÕES 76
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composições químicas de vinhaças obtidas de diferentes mostos (Prada , *et.al.* 1998).6
Tabela 2 - Localização e dados das sondagens 26
Tabela 3 - Resultados da análise das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 pelo método de fluorescência de raios x (óxidos e perda ao Fogo – à 105 ºC e 1000 ºC).....28
Tabela 4 - Resultados da análise das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 pelo método de fluorescência de raios x (elementos traços).....29
Tabela 5 - Resultados da análise das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 pelo método de fluorescência de raios x (óxidos e perda ao Fogo – à 105 ºC e 1000 ºC).....30
Tabela 6 - Resultados da análise das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 pelo método de fluorescência de raios x (elementos traços).....31
Tabela 7 - Comparação das médias dos resultados das análises das amostras de solo das sondagens ST-01 e ST-06 pelo método de fluorescência de raios x (óxidos e perda ao Fogo – à 105 ºC e 1000 ºC).....34
Tabela 8 - Comparação das médias dos resultados das análises das amostras de solo das sondagens ST-01 e ST-06 pelo método de fluorescência de raios x (elementos traço).....39
Tabela 9 - Resultados da correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nas amostras de solo das sondagens ST-01.....41
Tabela 10 - Resultados da correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nas amostras de solo das sondagens ST-06.....41
Tabela 11 - Parâmetros químicos e resultados das análises cromatográficas das amostras de lixiviado com água deionizada provenientes da sondagem ST-01 44
Tabela 12 - Parâmetros químicos e resultados das análises cromatográficas das amostras de lixiviado com água deionizada provenientes da sondagem ST-06 45
Tabela 13 - Comparação das médias das concentrações dos elementos químicos de interesse nos lixiviados com água deionizada nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01 e ST-06 51
Tabela 14 - Resultados da correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nos lixiviados com água deionizada nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01.....52

Tabela 15 - Resultados da correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nos lixiviados com água deionizada nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-06 52
Tabela 16 - Resultados das análises químicas de lixiviados por ácido nítrico das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 53
Tabela 17 - Resultados das análises químicas de lixiviados por ácido nítrico das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 54
Tabela 18 - Resultados das análises químicas de lixiviados por ácido nítrico das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 55
Tabela 19 - Resultados das análises químicas de lixiviados por ácido nítrico das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 56
Tabela 20 - Comparação das médias das concentrações dos elementos químicos de interesse nos lixiviados com ácido nítrico nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01 e ST-06 ... 58
Tabela 21 - Comparação das médias das concentrações dos elementos químicos de interesse nos lixiviados com ácido nítrico nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01 e ST-06. Continuação. 59
Tabela 22 - Resultados da análise estatística de correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nos lixiviados com ácido nítrico nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01 60
Tabela 23 - Resultados da análise estatística de correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nos lixiviados com ácido nítrico nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-06 61
Tabela 24 - Resultados das unidades formadoras de colônia de fungos filamentosos e leveduras nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01 64
Tabela 25 - Resultados das unidades formadoras de colônia de fungos filamentosos e leveduras nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06 65
Tabela 26 - Comparação das médias das contagens de Unidades Formadoras de Colônia Total (UFC/g)/1000, Unidades Formadoras de Colônia de Fungos (UFC/g)/1000 e Unidades Formadoras de Colônia de Fungos (UFC/g)1000 de Leveduras nas sondagens ST-01 e ST-06 ... 69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma básico do processo de fabricação de açúcar e álcool, Adaptado de Seabra (2008) 4
Figura 2 - Evolução da produção de etanol e vinhaça pela agroindústria canavieira no Brasil entre 1967 e 2012. Dados obtidos da União da Indústria de Cana-de-açúcar. * Cálculo com base na produção de 12 litros de vinhaça por litro de álcool produzido. 7
Figura 3 - Área de sacrifício/decantação no Estado de Pernambuco (Calazans, 2007) 10
Figura 4 – Sulcos de infiltração (Rossetto, 2007) 10
Figura 5 – Canal principal com impermeabilização (Nortene, 2012) 10
Figura 6 - Mapa de localização do município de Serrana-SP e imagem de localização do Assentamento Sepé Tiarajú. Fonte: Mortatti, 2010 13
Figura 7 - Tubulação utilizada para transferência da vinhaça do tanque para os caminhões (Cruz, 2008) 13
Figura 8 - Bacias Hidrográficas do Estado de SP (destaque para a UGRHI 04, do Rio Pardo). Fonte: DAEE/IGC (2003) 14
Figura 9 - Coluna estratigráfica parcial da região de Ribeirão Preto (Silva, et al. 2008) 15
Figura 10 - Localização das sondagens 20
Figura 11 – Método das diluições decimais seriadas 23
Figura 12 - Variação das concentrações de SiO_2 e K_2O nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01 32
Figura 13 - Variação das concentrações de SiO_2 e K_2O nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06 32
Figura 14 - Variação das concentrações de Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MnO e CaO nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01 33
Figura 15 - Variação das concentrações de Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MnO e CaO nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06 33
Figura 16 - Variação das concentrações de Ba, Pb, Y e Rb nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01 36
Figura 17 - Variação das concentrações de Cu, Ga, Mo, Nb, Ni, V e Zr nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01 36

Figura 18 - Variação das concentrações de Pb, Sr, Y e Ba nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06 37
Figura 19 - Variação das concentrações de Cu, Ga, Mo, Nb, Sn, Ni, As e V nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06 38
Figura 20 – Variação de pH e Eh (mV) nos lixiviados das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 46
Figura 21 - Variação de pH e Eh (mV) nos lixiviados das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 47
Figura 22 - Variação das concentrações de Ca e Na nos lixiviados das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 49
Figura 23 - Porcentagem de isolamentos de fungos e leveduras nas amostras das sondagens ST-01 e ST-06 63
Figura 24 - Porcentagem dos gêneros de fungos isolados nas amostras de solo ST-01 67
Figura 25 - Porcentagem dos gêneros de leveduras isolados nas amostras de solo ST-01 67
Figura 26 - Porcentagem dos gêneros de fungos isolados nas amostras de solo ST-06 68
Figura 27 - Porcentagem dos gêneros de leveduras isolados nas amostras de solo ST-06 68

INTRODUÇÃO

A demanda por combustíveis limpos e renováveis tem induzido os governos do Brasil a estimularem a expansão dos programas para aumentar a produção de álcool e de biodiesel, favorecendo a ampliação das lavouras de cana-de-açúcar e a construção de novas usinas sucroalcooleiras em todo o território do Estado de São Paulo.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, e o Estado de São Paulo é responsável por 75% de toda a produção nacional (UNICA 2009). Segundo levantamento da safra de cana-de-açúcar para a temporada 2012/2013, realizado em julho pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), indica que haverá um aumento de 6,5% na produção na próxima safra. A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8.527,8 mil hectares em todo o País, um crescimento de 2,1% em relação à safra passada. O estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar do país com 4.419,46 mil hectares cultivados. A região noroeste do estado de São Paulo, à qual se insere a área de estudo responsável por 29% da produção nacional (UNICA 2009).

A vinhaça denominada também de vinhoto, vinhote, restilo, calda de destilaria, caxixi, garapão, tiborna, a depender da região, é um resíduo da destilação e fermentação da cana-de-açúcar no processo de fabricação de álcool, também podendo originar-se como resíduo da produção de açúcar sendo eliminada no processo de cristalização do caldo da cana (Rezende 1984).

Diversos trabalhos acerca de disposição de vinhaça em solo por fertirrigação vêm sendo conduzidos, com enfoque nos efeitos do pH do solo, nas propriedades físico-químicas e nos efeitos na cultura de cana-de-açúcar, porém poucos trabalhos abordam os efeitos poluidores deste efluente sobre o solo e a água subterrânea (Lyra *et al*. 2003).

Para cada litro de álcool produzido são gerados 10 a 15 litros de vinhaça, e apesar do aumento da área cultivada de cana-de-açúcar, a fertirrigação que é a maior forma de utilização da vinhaça, não é capaz de dar destino para toda a vinhaça produzida, e desse modo o excesso deste efluente muitas vezes é disposto de forma inadequada causando a contaminação do solo que constitui o cenário da atual pesquisa.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral:

Identificar e avaliar os impactos em solo pela disposição de vinhaça em antigo tanque/lagoa sem impermeabilização.

Objetivos específicos:

- Avaliação das características químicas do solo em local de disposição de vinhaça;
- Análises microbiológicas (fungos e leveduras) em amostras de solo com o intuito de avaliar as alterações na microbiologia do solo após 8 anos da desativação do tanque/lagoa de armazenamento de vinhaça;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A vinhaça, subproduto da destilação do álcool e cristalização do açúcar, possui poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, o que decorre da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de elevada temperatura na saída dos destiladores. É considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem às costas brasileiras para procriação (Freire e Cortez, 2000).

De acordo com Braile e Cavalcanti (1979), a cana-de-açúcar é moída para extração do caldo, composto por sacarose, glicose, leveduras, matéria nitrogenada, dentre outros. O caldo passa por um tratamento químico e filtração. Para a produção do açúcar o caldo passa por um processo de evaporação, cozimento e centrifugação, e posteriormente uma secagem a vácuo. Para a produção de álcool, o caldo após o tratamento químico e a filtração passa por um processo de fermentação, onde são adicionadas leveduras, ácido sulfúrico e nutrientes, no qual o produto resultante é chamado de vinho é encaminhado para as colunas de destilação para a produção de álcool hidratado, onde o resíduo produzido é a vinhaça. Figura 1.

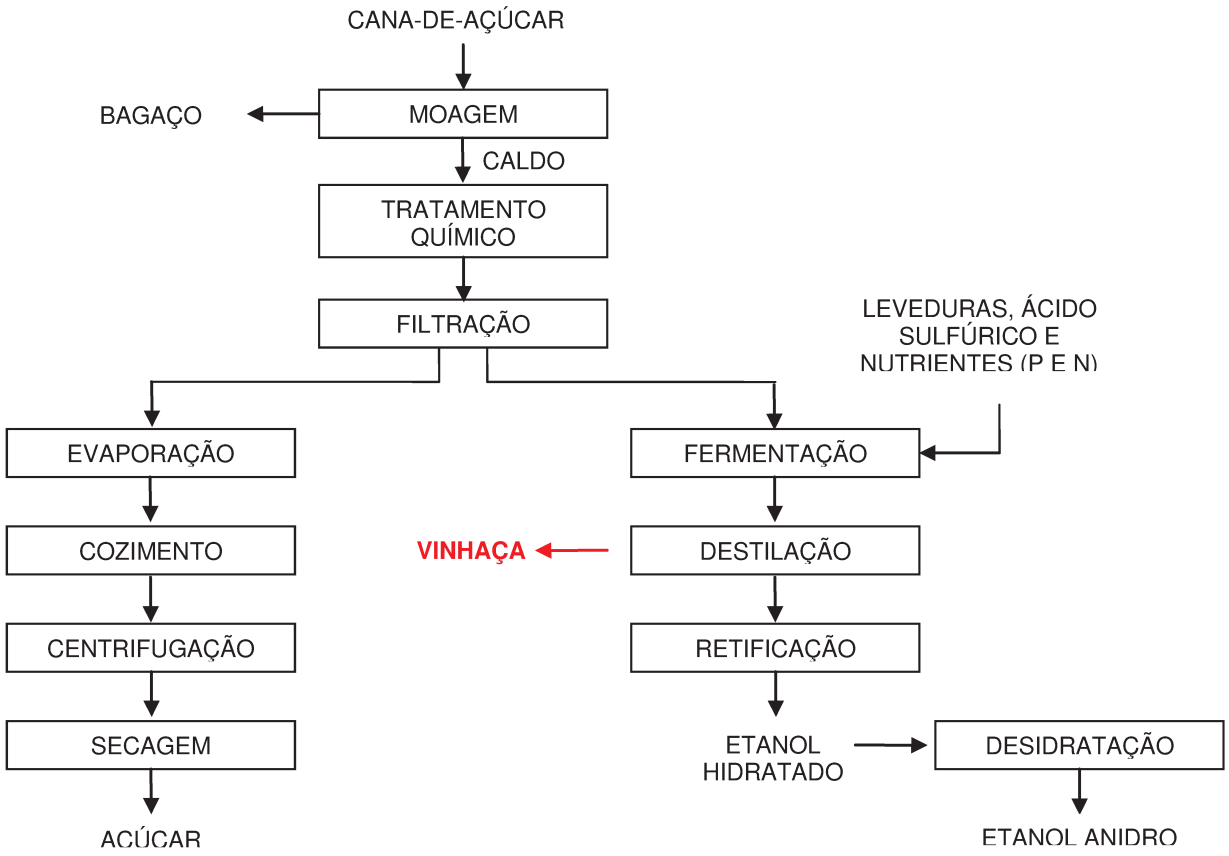

Figura 1 - Fluxograma básico do processo de fabricação de açúcar e álcool, Adaptado de Seabra (2008)

3.1 Caracterização da vinhaça

O constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e, em menor quantidade, por cátions como o K, Ca e Mg, sendo que sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto (Rossetto 1987). Segundo Elia Neto (1988) existem três origens possíveis para a vinhaça que variam de acordo com o tipo de mosto:

- Vinhaça de mosto de caldo: produzida de caldo direto para a fermentação alcoólica;
- Vinhaça de mosto de melaço: o mosto é preparado com o melaço, que é um subproduto da produção de açúcar;
- Vinhaça de mosto misto: o mosto é preparado com caldo direto e melaço;

A vinhaça de mosto de melaço apresenta maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio, ao passo que esses elementos decaem consideravelmente quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas (Rossetto 1987). A vinhaça apresenta em sua composição 93 % de água e 7 % de sólidos, dos quais 75 %

correspondem à matéria orgânica. A fração sólida é constituída principalmente por compostos orgânicos e íons, sendo 20 % de potássio, Marques (2006). Segundo Larrahondo *et al.* (2000), a vinhaça apresenta em sua composição 15 ácidos orgânicos, dentre os quais ácido aconítico (1,8 %), o sorbitol (1,4 %), e o ácido lático (1,3 %), além de 2,7% de glicerol .

A composição química da vinhaça é bastante variável e depende, principalmente, de fatores como a natureza e a composição da matéria prima, do sistema usado no preparo do mosto, do método de fermentação adotado e do sistema de condução da fermentação alcoólica, do tipo de levedura utilizada, do tipo de aparelho destilatório empregado, da maneira de destilação e do tipo de flegma separado (Gloria 1984).

Na Tabela 1 são apresentadas as composições químicas de vinhaças obtidas de diferentes tipos de mostos.

O potencial hidrogeniônico (pH) da vinhaça pode variar de 3,7 a 5,0, sendo que os menores valores de pH são encontrados na vinhaça proveniente do mosto de caldo. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) são mais elevadas na vinhaça produzida através do mosto de melaço, seguida pelo mosto misto e pelo mosto de caldo. A temperatura da vinhaça nos processos de cristalização do açúcar e destilação do álcool varia entre 80 e 100 ºC.

As concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio são elevadas e podem causar a salinização do solo quando há a aplicação em excesso nos processo de fertirrigação, prejudicando os solos agricultu ráveis. Segundo Rossetto (1987) dos efluentes líquidos da indústria sucroalcooleira, a vinhaça é a que possui maior carga poluidora.

Tabela 1 - Composições químicas de vinhaças obtidas de diferentes mostos (Prada , *et.al.* 1998)

Parâmetros	Melaço	Caldo	Misto
pH	4,2-5,0	3,7-4,6	4,4-4,6
Temperatura (ºC)	80-100	80-100	80-100
DBO (mg/l O_2)	25000	6000-16500	19800
DQO (mg/l O_2)	65000	15000-33000	45000
Sólidos Totais (mg/l)	81500	23700	52700
Sólidos Voláteis (mg/l)	60000	20000	40000
Sólidos Fixos (mg/l)	21500	3700	12700
Nitrogênio (mg/l N)	450-1610	150-700	480-710
Fósforo (mg/l P_2O_5)	100-290	10-210	9-200
Potássio (mg/l K_2O)	3740-7830	1200-2100	3340-4600
Cálcio (mg/l CaO)	450-5180	130-1540	1330-4750
Magnésio (mg/l MgO)	420-1520	200-490	580-700
Sulfato (mg/l SO_4)	6400	600-760	3700-3730
Carbono (mg/l C)	11200-22900	5700-13400	8700-12100
Relação C/N	16-16,27	19,7-21,07	16,4-16,43
Matéria Orgânica (mg/l)	63000	19500	3800
Substâncias redutoras (mg/l)	9500	7900	8300

O aumento na produção de álcool reflete no aumento da produção de vinhaça, o que resulta em uma grande quantidade desse efluente, uma vez que apesar do aumento da área cultivada de cana-de-açúcar, somente a fertirrigação não é capaz de dar destino para toda a vinhaça produzida.

A quantidade despejada de vinhaça pelas destilarias pode variar dependendo das condições tecnológicas da destilaria, segundo Rossetto (1987) de 10 a 18 L de vinhaça por litro de álcool produzido. Já Hassuda (1989) e Gloeden *et al.* (1991) estimaram a razão de 12 litros de vinhaça para cada litro de álcool, enquanto que Cortez e Larson (1998) reportam a possibilidade da variação de 10 a 15 litros de vinhaça para cada litro de etanol. Nos últimos anos com a modernização dos processos produtivos de álcool, existem usinas que reportam a razão se 6 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido Figura 2.

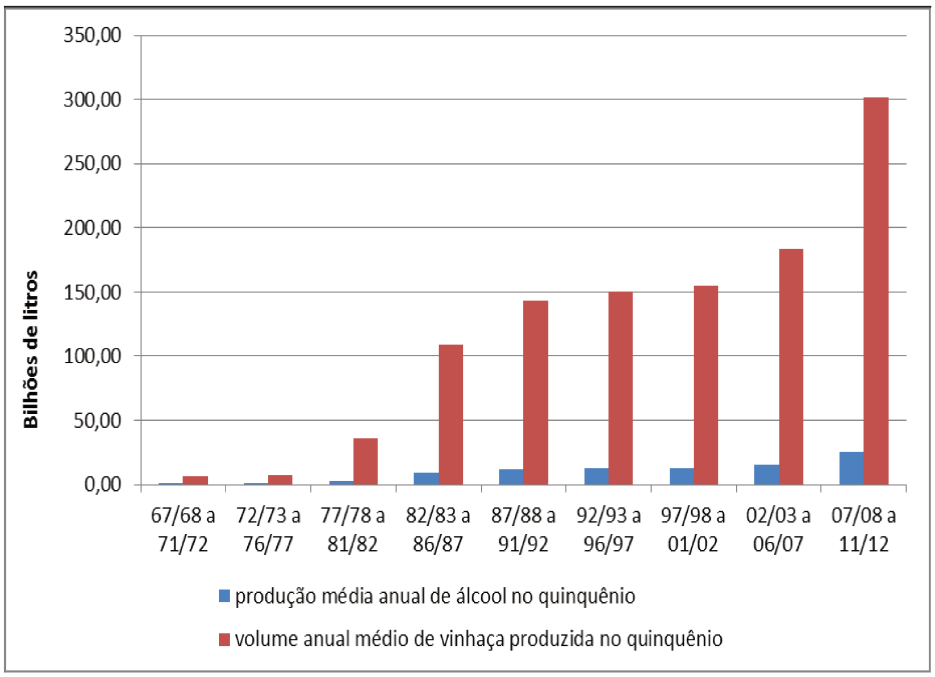

Figura 2 - Evolução da produção de etanol e vinhaça pela agroindústria canavieira no Brasil entre 1967 e 2012. Dados obtidos da União da Indústria de Cana-de-açúcar. * Cálculo com base na produção de 12 litros de vinhaça por litro de álcool produzido.

3.2 Utilização da vinhaça

Desde a década de 80 a principal utilização da vinhaça no Brasil está na fertirrigação um processo conjunto de irrigação e adubação que consiste na utilização da própria água para conduzir e distribuir o fertilizante químico ou orgânico na lavoura, podendo ser feita por qualquer sistema de irrigação (Vieira 1986).

A vinhaça por suas características composicionais, rica em sais minerais (K, Ca, Mg e N) e matéria orgânica, vem sendo em sua maior parte disposta por aspersão, principalmente em culturas de cana (Corazza 2006).

A disposição da vinhaça no solo se dá através de caminhões tanque e sistemas de irrigação por aspersão e sulcos de infiltração. A utilização da vinhaça na fertirrigação representa uma prática eficiente na condução de um efluente com elevada capacidade de poluição e um grande volume de produção, bem como uma alternativa econômica, uma vez que sua aplicação contribui para reduzir os custos de produção da cana (Lyra *et al*. 2003).

Coelho (1986) afirma que o uso agrícola da vinhaça e os seus benefícios ao solo são indiscutíveis, tanto do ponto de vista agronômico, econômico, quanto social. A utilização da vinhaça na fertirrigação promove a adição de nutrientes no solo, elevação da umidade e do pH e melhora da resistência do solo à erosão, o que resulta no aumento da produtividade agrícola (Cambuim 1983).

Por outro lado, o excesso de vinhaça utilizada na fertirrigação provoca o retardamento do processo de maturação da planta, o que leva a uma queda no teor de sacarose comprometendo a qualidade final da cana-de-açúcar. O uso contínuo de vinhaça pode levar à contaminação da água subterrânea através da lixiviação de cátions, ânions e metais (Rossetto 1987).

Em razão de estudos indicativos de contaminação de solo, águas subterrâneas e águas superficiais pelo uso e disposição inadequados de vinhaça, em dezembro de 2006, a Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (CETESB) editou uma norma técnica nº P 4.321 que estabelece critérios e procedimentos para armazenamento, transporte e aplicação de vinhaça no solo agrícola do Estado de São Paulo gerada pela indústria sucroalcooleira. Nesta normativa foi suspenso o armazenamento deste resíduo em áreas de sacrifício, e determinados os procedimentos para evitar e monitorar possíveis contaminações, como a impermeabilização dos tanques e canais condutores, caracterização do solo e da vinhaça, assim como a elaboração de um planejamento para a aplicação do resíduo.

3.3 Contaminação do solo

A vinhaça possui um alto poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico (Silva *et al.* 2007), decorrente do elevado teor de matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade, altos índices de DBO em torno de 20.000 a 35.000 mg/l e elevada temperatura na saída dos destiladores, entre 85 e 90 °C (Rossetto 1987).

Rezende (1984) apresenta os principais fatores limitantes do uso da vinhaça in natura como fertilizante:

- Quantidade de água contida: onera custos de aplicação;
- Desproporção entre os íons constituintes da vinhaça – produzindo uma adubação desbalanceada;
- Presença de ácido sulfúrico altamente corrosivo – prejudica os equipamentos de irrigação;

- Riscos de salinização do solo – quando do uso abusivo do efluente;
- Contaminação das águas subterrâneas.

Barros (2010) avaliou as alterações químicas em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico no município de Laranjeiras-PE em área com 10 anos de aplicação de vinhaça. Foram avaliadas duas áreas, sendo a primeira cultivada com cana-de-açúcar e fertirrigada por mais de 10 anos (A), e a outra área cultivada com cana-de-açúcar sem a fertirrigação com vinhaça (B). As amostras de solo foram coletadas em três profundidades (0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm). Na área A o pH encontrou-se mais elevado, assim como as concentrações de K, Na, P e Fe. Contudo, as concentrações de Mn, Zn e Cu na área B foram superiores.

Meurer *et al.* (2000) destacaram como contaminantes das águas superficiais e subterrâneas fosfato e nitrato respectivamente, que tem gerado grande preocupação na saúde humana e animal, principalmente o nitrato (Resende *et al.* 2002). Além dos impactos na saúde animal e humana, o nitrato provoca o crescimento (diminuto ou excessivo) das plantas e a eutrofização do ambiente, ou seja, o enriquecimento excessivo de nutrientes em reservatórios naturais de água, limitando a atividade biológica (Stevenson 1986).

Ludovice (1997) apresenta os resultados de seu estudo sobre os impactos da vinhaça no solo e na água subterrânea por canal condutor de terra. A autora utilizou duas sondas de cápsula porosa e duas caixas coletoras de água de drenagem que foram colocadas a 0,5 m e l,5 m sob o canal, e como pontos testemunhas foram também monitorados uma cisterna, um poço, um açude e o rio. Conclui-se que há infiltração da vinhaça pelos canais condutores e que o material infiltrado chega à água subterrânea alterando os valores de pH, condutividade elétrica, DBO, serie nitrogenada completa (N-Kjedahl, N-amoniacal, N-nitrato e nitrito).

As formas de disposição da vinhaça que causam contaminação são: as áreas de sacrifício, os sulcos de infiltração de vinhaça, canais condutores, lagoas de acumulação e resfriamento da vinhaça e células/tanques de decantação sem impermeabilização, pois não apresentam qualquer forma de proteção que impeça ou que controle o volume de vinhaça infiltrado para o solo.

As denominadas áreas de sacrifício são áreas de superfície que recebem ou são "embebidas" com a vinhaça não tratada. Como indica sua própria designação as "áreas de sacrifício" tornam-se completamente inutilizáveis para quaisquer outras finalidades (Corazza

2006). No estado de São `Paulo esta forma de disposição foi proibida por causar a contaminação de solo e agua subterrânea (Figura 3).

Figura 3 - Área de sacrifício/decantação no Estado de Pernambuco (Calazans, 2007)

Os sulcos de infiltração (Figura 4) são canais abertos nas entrelinhas do canavial. Neles através de uma tubulação ligada a uma adutora principal, a vinhaça associada aos demais efluentes líquidos provenientes do processo de produção de açúcar e álcool, é retirada de tanques de contenção e lançada nos canais principais (Figura 5) que margeiam os talhões e posteriormente atinge os sulcos de infiltração.

O grau de impacto da vinhaça no solo e na água subterrânea é função da forma de disposição do efluente e da vulnerabilidade do aquífero àquele contaminante. A forma de disposição está relacionada à facilidade de acesso do contaminante à água subterrânea e ao volume da carga contaminante que afeta as propriedades e o ambiente do solo.

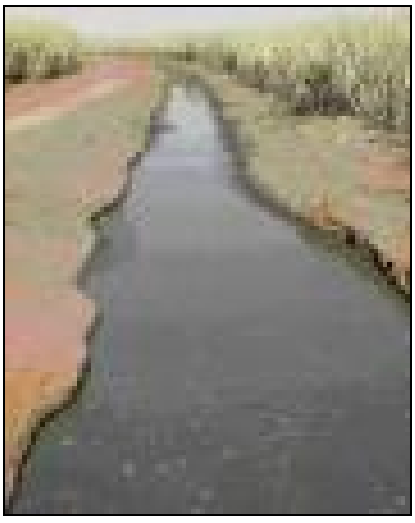

Figura 4 – Sulcos de infiltração (Rossetto, 2007)

Figura 5 – Canal principal com impermeabilização (Nortene, 2012)

3.4 Impacto da vinhaça na microbiota do solo

A qualidade do solo está relacionada à atividade microbiana, ou seja, a reações biológicas e bioquímicas catalisadas pelos microrganismos (Silveira *et al.* 2007), responsáveis pela decomposição de resíduos de plantas, animais, urbanos e industriais, pela ciclagem biogeoquímica, incluindo a fixação de N_2, pela formação de agregados do solo e pela taxa de decomposição de materiais orgânicos (Elsas, 1997). Os microrganismos do solo são considerados indicadores sensíveis para avaliar o impacto antrópico sobre os processos biológicos do solo (Dick 1994).

A adição de vinhaça como fertilizante favorece o desenvolvimento de fungos e bactérias que atuam na mineralização e imobilização do nitrogênio e na sua nitrificação, desnitrificação e fixação biológica, além de microrganismos participantes dos ciclos biogeoquímicos de outros elementos (Giachini e Ferraz 2009). O pH dos solos tratados com vinhaça aumenta (Silva e Ribeiro 1998), principalmente em antigas áreas de cultivo, embora nos primeiros dez dias após sua aplicação o pH sofra uma redução considerável, elevam-se abruptamente, podendo alcançar valores superiores a sete; este efeito está ligado à ação dos microrganismos, entretanto o pH tende a voltar aos valores semelhantes aos encontrados antes da aplicação (Rossetto 1987).

A vinhaça apresenta-se, em média, com 1% de células de levedura (Saccharomyces Cerevisae), resultando em elevada taxa de Demanda Bioquimica de Oxigênio (DBO), o que resulta em uma alta carga poluidora (Murakami *et al*. 1993).

Santos *et. al* (2009) ao avaliar os efeitos da fertirrigação com diferentes doses de vinhaça em microrganismos do solo encontrou um aumento na frequência de isolamentos de fungos quando comparada com amostra controle.

O processo de decomposição microbiológico da vinhaça interfere nas características físicas e químicas do solo, quando a vinhaça é aplicada provoca a acidificação imediata do meio favorecendo o desenvolvimento dos fungos, que são os microrganismos responsáveis pelo início do processo de decomposição. Com o aumento do pH, observa-se o desenvolvimento de bactérias que são responsáveis pelo processo de decomposição final da vinhaça. A atividade microbiana favorece o aparecimento de agregados no solo, que são os fungos com desenvolvimento de micélios e as bactérias com produção de substâncias gomosas. (Graciano 2007).

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para o trabalho situa-se nos municípios de Serrana e Serra Azul-SP, entre o km 28 e o km 31,4 da Rodovia 333 - Abraão Assed, cerca de 30 km de Ribeirão Preto e denomina-se Projeto de Desenvolvimento Sustentável – Assentamento Sepé Tiarajú (Figura 6). O assentamento foi criado em 2004, e possui uma área total de 814,40 ha, que por cerca de 50 anos foi utilizada na atividade canavieira com aplicação de vinhaça através da fertirrigação.

O foco do estudo foi uma antiga área de disposição de vinhaça representada por um tanque/lagoa sem impermeabilização e canal condutor que foram utilizados durante anos e encontra-se desativado há 8 anos. O tanque apresenta uma área total de cerca de 80 m^2 e volume de 19.300 m^3, sem qualquer tipo de impermeabilização, com exceção da disponibilidade natural de argila no solo.

O tanque era utilizado para armazenamento da vinhaça e através das tubulações (Figura 7) os caminhões eram abastecidos e transportavam a vinhaça para aplicação nas áreas do canavial. Salienta-se que a deposição de vinhaça no tanque era realizada através de escoamento superficial com a utilização das curvas de nível.

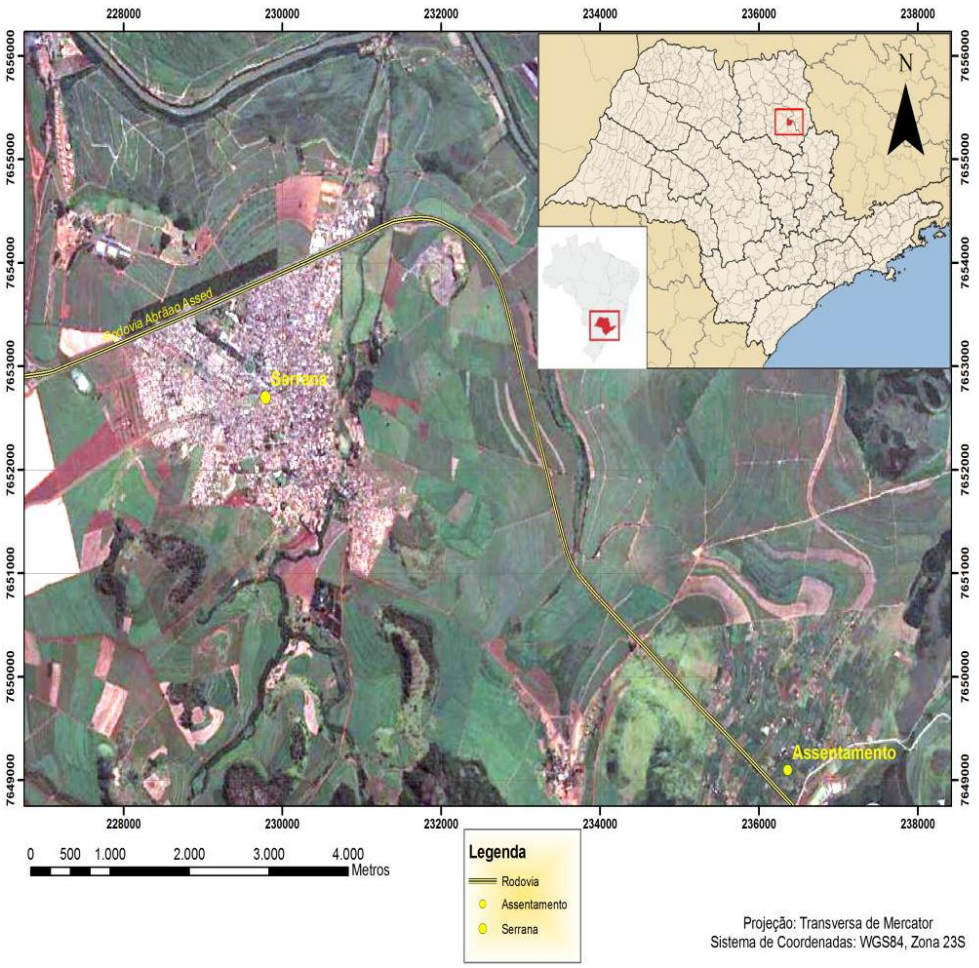

Figura 6 - Mapa de localização do município de Serrana-SP e imagem de localização do Assentamento Sepé Tiarajú. Fonte: Mortatti, 2010

Figura 7 - Tubulação utilizada para transferência da vinhaça do tanque para os caminhões (Cruz, 2008).

4.1 Caracterização pedológica e geomorfológica

Conforme Oliveira e Prado (1987), a área do assentamento apresenta os seguintes tipos de solos: Latossolo Vermelho-Escuro, Argissolo Vermelho-Escuro, Gleissolo Háplico (associados à planície aluvionar do rio Pardo) e Neossolo Quartzarênico, associado aos locais de recarga direta dos aquíferos subterrâneos.

Segundo Mortatti (2010), o Latossolo Vermelho-Escuro apresenta características de textura argilosa a muito argilosa, possivelmente resultantes da decomposição de rochas basálticas da Formação Serra Geral, o Neossolo Quartzarênico é associado com a decomposição dos arenitos da Formação Botucatu.

A área de estudo faz parte da bacia hidrográfica do Rio Pardo, Figura 8. No assentamento foram identificadas quatro nascentes, sendo que três delas situam-se na encosta do morro. Na parte leste do assentamento corre o rio Serra Azul que é afluente direto do rio Pardo.

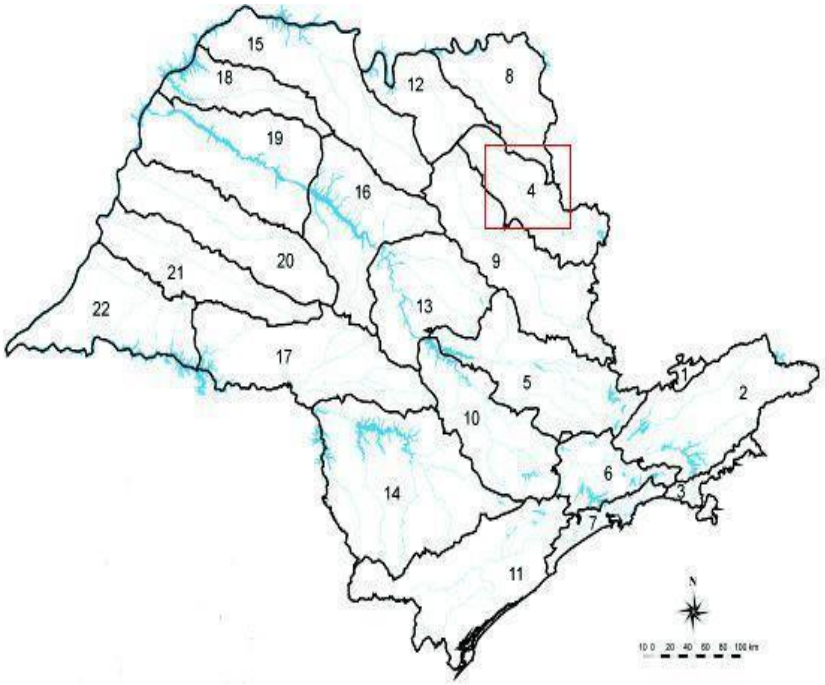

Figura 8 - Bacias Hidrográficas do Estado de SP (destaque para a UGRHI 04, do Rio Pardo). Fonte: DAEE/IGC (2003)

O histórico de uso do solo, primeiramente, foi baseado na cultura do café abrangendo o período compreendido entre final do século XIX até a metade do século XX. No decorrer dos últimos 50 anos o sistema de produção predominante foi alicerçado na cultura da cana-de-açúcar (Gonçalves e Souza, 2009)

A cobertura vegetal nativa remanescente é composta por fragmentos de floresta estacional semi-decídua e de cerradão. Atualmente, a vegetação predominante na área é constituída por plantas herbáceas, as quais sucedem as áreas antes ocupadas com cana-de-açúcar pecuária. (Mortatti 2010).

4.2 Geologia regional

A geologia da região de estudo é constituída pelas formações Pirambóia e Botucatu que, juntamente com os derrames basálticos da Formação Serra Geral, integram uma sequência vulcanoclástica continental, reunida no Grupo São Bento (Bacia do Paraná), com idade situada entre o Eotriássico e o Eocretáceo (Figura 9).

Segundo Silva *et al.* (2008), esta sequência é limitada, na base e no topo, por discordâncias regionais que separam, respectivamente, rochas paleozóicas e neocretáceas. A Formação Pirambóia, situada em posição estratigráfica inferior, insere-se na Supersequência Gondwana II, enquanto a Formação Botucatu, superior, insere-se na Supersequência Gondwana III, juntamente com os magmatitos Serra Geral que a recobrem, de acordo com Milani (1997).

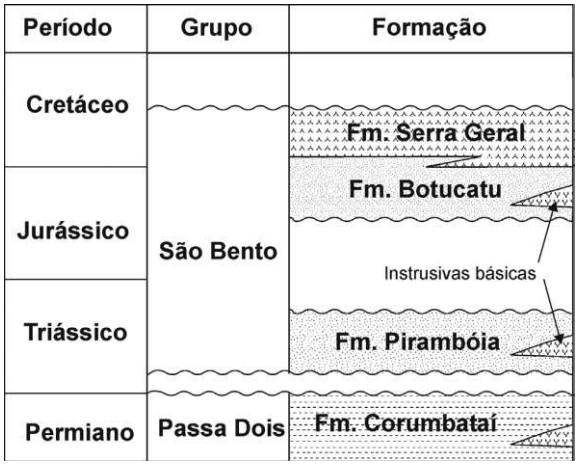

Figura 9 - Coluna estratigráfica parcial da região de Ribeirão Preto (Silva, et al. 2008)

4.2.1 Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia caracteriza-se por uma sucessão de espessos bancos arenosos, avermelhados ou rosados, constituídos por arenito de granulação fina e média, possuindo maior proporção de fração argilosa na porção inferior, exibindo estratificação cruzada planar e acanalada e plano paralela, intercalando camadas de lamitos arenosos de cores que variam de tons claros a amarelo, roxo, vermelho e verde (Landim *et al*. 1980).

As estruturas sedimentares existentes são laminações plano-paralelas e estratificações cruzadas, podendo ser originadas de ambiente continental aquoso, ou ainda associação de depósitos eólicos de dunas, interdunas e lençóis de areia, entremeados por depósitos fluviais, subordinados (Caetano-Chang e Wu 1995).

4.2.2 Formação Botucatu

A Formação Botucatu foi definida formalmente por Soares (1973, 1975), sendo constituída predominantemente por arenitos finos a médios, de cor vermelha, rósea ou amarelo-claro, bem selecionados, maturos, apenas localmente feldspáticos, exibindo estratificações cruzadas de grande e médio portes, depositados por processos eólicos em ambiente desértico. O quartzo atinge até 97 %, e os feldspatos ocorrem em quantidade que varia de 3 a 7 %.

A variação de espessura da Formação Botucatu é, em grande parte, função da distribuição dos campos de dunas e de seu recobrimento pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral (Assine *et al.* 2004).

O contato basal com a Formação Pirambóia representa uma discordância regional, segundo Silva *et al*. 2008.

O pacote sedimentar da Formação Botucatu foi depositado pelo vento em extenso deserto com campos de dunas. Este ambiente se manteve até as manifestações vulcânicas. Após os primeiros derrames, as areias continuaram a ser movimentadas, formando os arenitos interderrames (IPT, 1981).

4.2.3 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral, associada à ruptura do oeste do Gondwana, é composta por basaltos toleíticos e andesitos basálticos, e também por riodacitos e riólitos (Peate *et al.* 1992).

A espessura máxima da Formação Serra Geral foi medida em sondagem em Cuiabá Paulista (Pontal do Paranapanema, Estado de São Paulo), indicando 1.700 m de derrames

(Almeida 1986). Tal pacote adelgaça-se para as bordas do Planalto Ocidental, onde as serras basálticas possivelmente não alcançam um terço dessa espessura (IPT, 1981).

Os derrames são constituídos por rochas de cor cinza escura a negra, em geral afaníticas. Naqueles mais espessos, a zona central é maciça, microcristalina e apresenta-se fraturada por juntas de contração subverticais (disjunção colunar). Na parte superior dos derrames aparecem vesículas e amígdalas (estas parcial ou totalmente preenchidas por calcedônia, quartzo, calcita, zeólitas e nontronita), além de grandes geodos que podem ocorrer na sua parte mais profunda. A porção basal dos derrames também pode apresentar tais características, porém em espessura e abundância sensivelmente mais reduzidas. (IPT, 1981).

4.3 Hidrogeologia regional

Na região observam-se dois principais sistemas aquíferos: o Sistema Aquífero Guarani e o Sistema Aquífero Serra Geral.

O Sistema Aquífero Guarani é composto pelas Formações Pirambóia e Botucatu. A Formação Pirambóia superior é representada por bancos de arenitos pouco a muito argilosos, intercalados por lamitos e argilitos arenosos. A Formação Botucatu é representada por sedimentos eólicos representados por arenitos de granulação fina a muito fina, com corpos de arenitos conglomeráticos na porção basal (DAEE, 1982). No topo da Formação Botucatu, os sedimentos podem ocorrer interdigitados pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

O Aquífero Guarani é o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo. Está localizado na região centro-leste da América do Sul, entre 12º e 35º de latitude sul e entre 47º e 65º de longitude oeste e ocupa uma área de 1,2 milhões de km², estendendo-se pelo Brasil (840.000l km²), Paraguai (58.500 km²), Uruguai (58.500 km²) e Argentina (255.000 km²) (CETESB, 2012).

Sua maior ocorrência se dá em território brasileiro (2/3 da área total), abrangendo os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

As águas do Aquífero Guarani são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e apresentam temperaturas de 22 a 27 °C, pH de 5,4 a 9,2 e salinidade inferior a 50 mg/L, na área aflorante. Na área confinada, a temperatura varia de 22 a 59,7 °C, o pH de 6,3 a 9,8 e a salinidade

de 50 a 500 mg/L. Os valores de temperatura, pH, salinidade, e de íons cloreto, sulfato e sódio aumentam no sentido do confinamento (DAEE *et al.* 2005).

O Aquífero Serra Geral é formado por rochas impermeáveis originadas por derrames basálticos da Formação Serra Geral e intrusões diabásicas. Dessa forma, a produção de águas subterrâneas ocorre somente ao longo de falhas e fraturas das rochas e intercalação com rochas mais permeáveis.

Os basaltos afloram numa extensão de cerca de 20.000 km^2, estendendo-se por toda a região Oeste e Central do Estado, localizados em camadas inferiores aos sedimentos do Grupo Bauru. Sua espessura varia desde poucos metros, aumentando para Oeste, até 1.000 metros. Assim sendo, suas características hidrodinâmicas ficam melhor demonstradas pelos valores de vazão específica que variam entre 0,08 e 50 $m^3/h/m$, com valor médio de 1,0 $m^3/h/m$ (CETESB, 2012).

A recarga para o Aquífero Serra Geral se dá através da precipitação pluvial sobre os solos basálticos, que vão atingir as regiões fissuradas da rocha matriz. Ocorre também um grande intercâmbio de água com o Aquífero Bauru, localizado acima, e também com o aquífero inferior, constituído pelos arenitos Botucatu e Pirambóia. As principais saídas de drenagem desse aquífero de basalto são os rios (CETESB, 2012).

De acordo com o mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos do Estado de São Paulo (IG/CETESB/DAEE, 1997), a região de Ribeirão Preto, por situar-se em área de recarga do Aquífero Guarani, é considerada uma área crítica em termos de risco potencial de contaminação da água subterrânea. Este fato se deve à alta vulnerabilidade deste aquífero associada ao tipo de uso do solo na região, predominantemente agrícola. A classificação da vulnerabilidade nesta região varia entre médio-baixo a alto-alto, sendo mais vulnerável em porções com nível d'água raso. Nesta região de Ribeirão Preto, os índices de vulnerabilidade Altos ocorrem predominantemente nas porções próximas às drenagens onde há a tendência de menor profundidade do nível da água subterrânea.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Sondagem e amostragem de solo

Duas áreas de interesse foram selecionadas para a execução das sondagens com o intuito de coleta de amostras de solo deformadas (Figura 10).

Inicialmente a primeira sondagem de investigação foi realizada no interior do antigo tanque com a utilização de equipamento rotativo mecanizado com trado espiral, com o objetivo de determinar o nível de água do aquífero (ST-01) e dessa maneira orientar o escopo dos trabalhos seguintes. A sondagem no interior do antigo tanque de vinhaça foi realizada com a utilização de equipamento rotativo mecanizado tipo Hollow Steam Auger em diâmetro de 6", com o objetivo de coletar amostras de solo. A sondagem ST-06 foi realizada através do método rotativo com a utilização de trado manual tipo caneco com diâmetro de 4", em um local onde não havia a influência do tanque. As sondagens foram realizadas seguindo a Norma da Associação brasileira de normas Técnicas (ABNT) "NBR 15.492/2007 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento".

As amostras de solo deformadas foram coletadas a cada metro perfurado, sendo obtidos cerca de 4 kg de amostra por ponto de coleta.

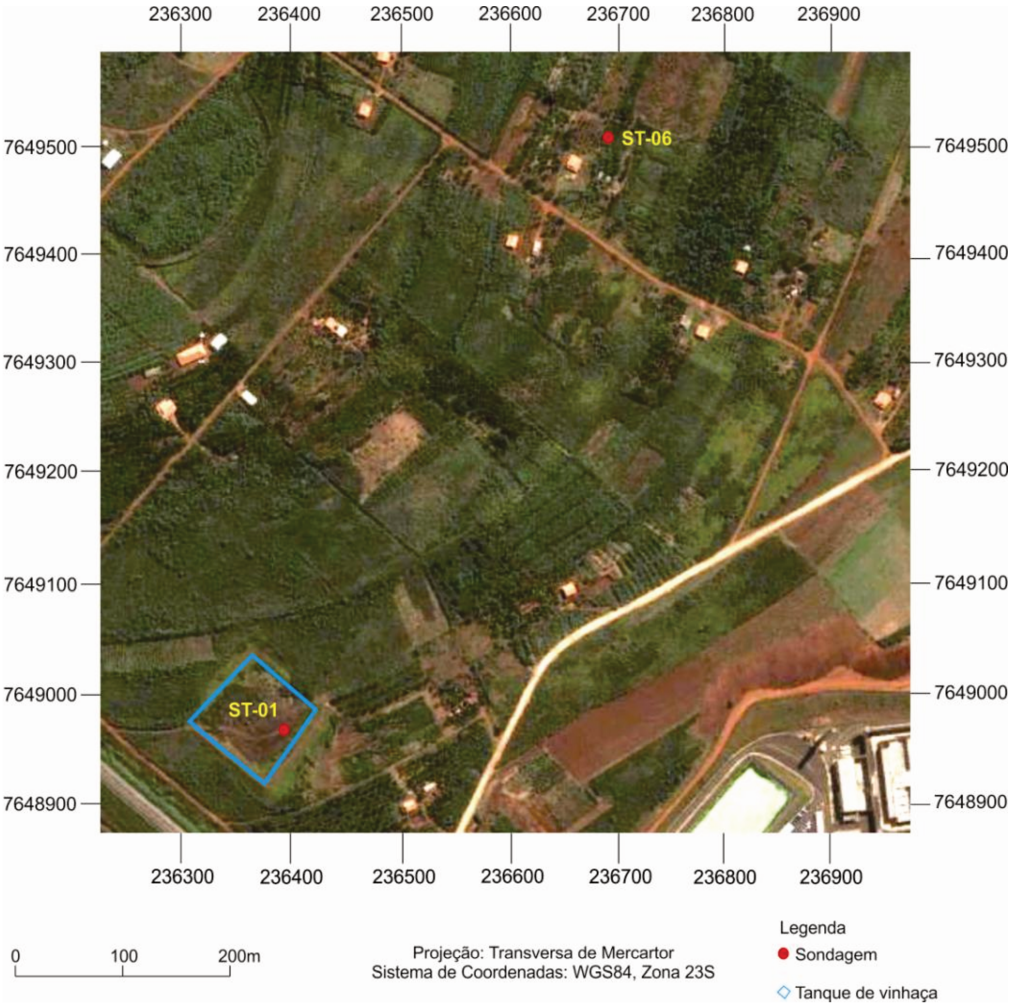

Figura 10 - Localização das sondagens

5.2 Ensaios em amostras de solo

Para análise das propriedades físico-químicas do solo foram utilizadas as 27 amostras de solo coletadas nas sondagens ST-01 localizada no interior do antigo tanque considerado a fonte de contaminação, e as 32 amostras da sondagem ST-06, localizada à montante da área de estudo, considerada como amostras de *background*.

5.2.1 Fluorescência de raios x (FRX) e ensaio de perda ao fogo

Para que fossem realizadas as análises de FRX e o ensaio de perda ao fogo as amostras de solo foram secas no liofilizador modelo Benchtop da marca Vertis por 2 dias submetidos a uma pressão negativa (vácuo) de 200 μTorr.

Após a secagem as amostras foram desagregadas e peneiradas em peneira de nylon com abertura de 80 mesh. As amostras foram colocadas em moinho de bolas de ágata a uma velocidade de 200 rpm por 15 minutos.

Para preparo das pastilhas, em um frasco de poliestireno foram colocados 9,0 g de amostra moída, juntamente com 1,5 g de cera aglutinante *Wax powder* (Hoechst, Alemanha) e uma bola de poliestireno para facilitar a homogeneização da amostra que foi colocada em aparelho misturador modelo Mixer/Mill 8000 da marca Spex CertPrep por 3 minutos.

Posteriormente foi retirada a bola de poliestireno e a amostra foi colocada no compartimento de prensagem da prensa marca Herzog modelo HTP-40 com a ajuda de um funil de plástico. O manômetro da prensa foi ajustado em 15 toneladas e o temporizador em 1 minuto.

A análise das concentrações dos principais elementos (maiores e menores, alguns traços) em solo foi realizada por FRX com a utilização de pastilhas prensadas, conforme metodologia de (Zambello e Enzweiler, 2002).

A preparação das amostras para os ensaios de perda ao fogo foi realizada segundo a metodologia descrita por Zambello e Enzweiler (2002).

Antes do início do ensaio de perda ao fogo, os cadinhos de porcelana utilizados no ensaio foram pesados e depois colocados na mufla por 30 minutos e submetidos a uma temperatura de 1000 ºC para que fossem calcinados. Os mesmos foram retirados, colocados no dessecados para esfriar por 30 minutos e pesados novamente.

Em cada cadinho foi colocada 3 g de amostra pesada em balança analítica com precisão de 0,0001 g. Foi anotado o peso do conjunto. Os cadinhos foram colocados na estufa a uma temperatura de 105 ºC por 2 horas, e posteriormente foram colocados no dessecador para esfriar por 30 minutos e pesados.

Após a pesagem dos cadinhos os mesmos foram colocados na mufla para calcinação por 30 minutos a uma temperatura de 1000 ºC. Posteriormente foram colocados no dessecador para esfriar por cerca de 30 minutos e pesados novamente.

Para o cálculo da porcentagem de perda ao fogo na estufa e na mufla de cada amostra, utilizou-se o valor da massa da amostra perdida após cada etapa, dividiu-se pela massa inicial da amostra e multiplicou-se por 100. O resultado foi expresso em % com duas casas decimais de precisão.

5.2.2 Ensaios de Lixiviação

Todas as amostras de solo coletadas nas sondagens ST-01 (27 amostras) e ST-06 (32 amostras) foram utilizadas em ensaios de lixiviação para determinar quais substâncias/elementos foram lixiviados do solo.

Para os ensaios elencaram-se duas metodologias para lixiviação das amostras de solo, sendo a primeira com a utilização de água deionizada (Mili-Q, Millipore) para análises cromatográficas e a segunda com a utilização de ácido nítrico para as análises no ICP-MS.

O método utilizado para lixiviação com água deionizada foi desenvolvido por Hageman e Briggs (2000) e modificado pela United States Geological Survey (2007).

Para realizar do ensaio de lixiviação com ácido nítrico foram pesados 2g de cada amostra em tubos de centrífuga de 50 mL previamente limpos com HNO_3 5% e enxaguados com água ultra-pura (18,2 MΩ.cm), obtida por sistema Milli-Q. O ácido nítrico (HNO_3) foi purificado por sub-ebulição.

A cada amostra foi adicionado 40 mL de HNO_3 1 % para extração com agitação manual por 5 minutos seguida de centrifugação a 5.000 rpm por 10 minutos. Após a extração com HNO_3 1 % uma alíquota de 10 mL do extrato obtido recebeu a adição de 150 µL da solução contendo os padrões internos (In e Re, cada um 200 ppb) para correção do *drift* instrumental.

Os parâmetros físico-químicos das alíquotas lixiviadas com água deionizada foi realizada com a utilização de equipamento Hanna 9828 da Hanna Instruments.

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade de Campinas.

5.2.3 Análises microbiológicas (fungos e leveduras)

Ao todo foram selecionadas 24 amostras de solo da sondagem ST-01, localizada no interior do tanque de vinhaça, e 32 amostras de solo da sondagem ST-02 localizada em área montante onde não houve a disposição de vinhaça, das quais se pesaram 2,5 mg de cada amostra de solo, que posteriormente foi diluída com 10 ml de água deionizada formando a suspensão inicial.

Posteriormente foram selecionados 6 tubos de ensaio nos quais se adicionou 9 ml de água destilada. No primeiro tubo foi adicionado 1 ml da solução inicial, perfazendo uma diluição de 10^{-1}. Esta solução foi agitada e dela foi retirado 1 ml, adicionado a outro tubo de ensaio

perfazendo uma diluição de 10^{-2}, sendo o processo repetido sucessivamente até a obtenção de uma diluição 10^{-6}, conforme Figura 11.

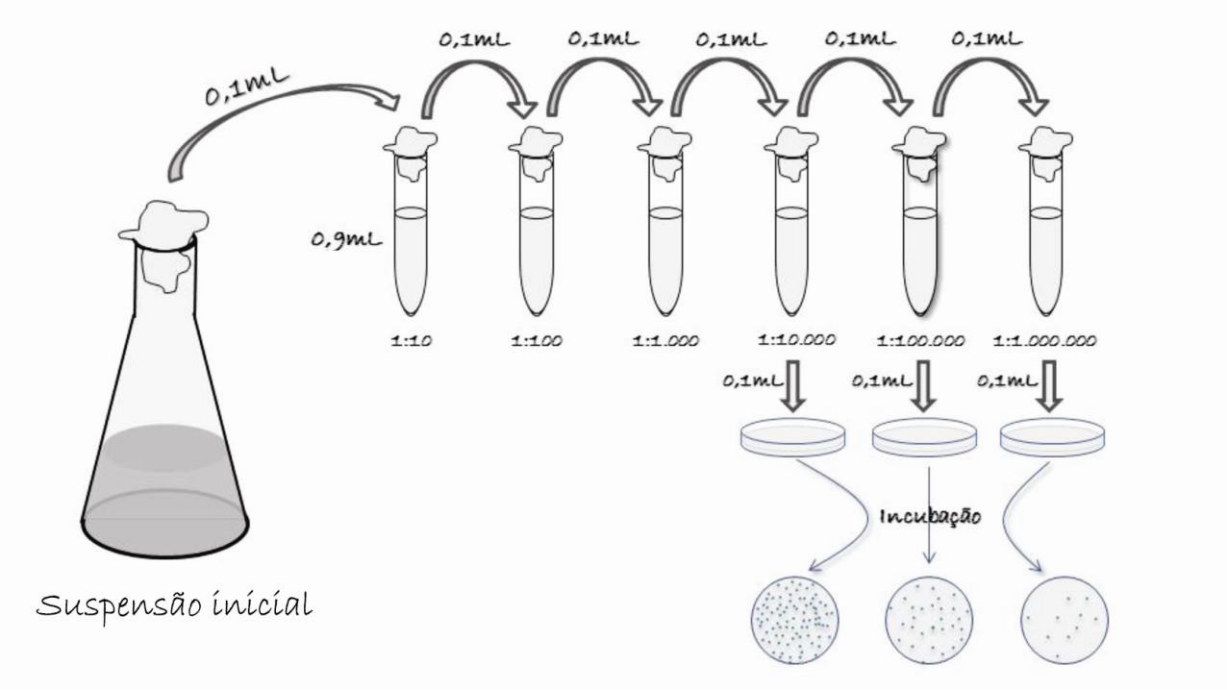

Figura 11 – Método das diluições decimais seriadas

A técnica de isolamento utilizada foi a de "*Pour Plate*" (Swanson *et al*. 1992). Na técnica de *Pour Plate*, a inoculação do agar é feita antes da sua solidificação (no entanto após retirada do meio do autoclave é necessário deixá-lo arrefecer até 45 ºC. O meio de cultura arrefecido, mas ainda líquido, foi misturado com as amostras diluídas, e posteriormente a mistura foi colocada em caixas de petri e incubada.

A contagem das colônias identificadas foi realizada multiplicando-se o número encontrado pelo fator de diluição das amostras (Busta *et al*. 1984).

A identificação dos fungos filamentosos foi realizada através de padrões morfológicos como características macroscópicas dos cultivos e microscópicas das colônias através da técnica de microcultivos em lâmina em ágar Sabouraud dextrose acrescido de cloranfenicol, conforme Ridell (1950). Os fungos filamentosos foram classificados segundo os compêndios: Raper e Fennell 1965, Arx 1974, Nelson *et al*. 1983.

As leveduras isoladas foram identificadas por testes padrões morfológicos (macro e microscópicos) através de microcultivos em agar fubá-Tween 80, testes de assimilação de

açúcares (auxonograma) através dos kits API 20C (BioMérieux), teste de assimilação de fontes de nitrogênio (peptona e lisina), teste de fermentação de glicose (zimograma) e prova da urease (Yarrow 1998, Neufeld 1999, Sidrim e Rocha 2004). Utilizou-se para identificação das leveduras a chave de classificação de Barnett *el al.* (2000).

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Instituto de Zootecnia de Nova Odessa-SP.

5.3 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, onde as áreas com vinhaça (ST-01) e sem vinhaça (ST-06) foram as variáveis independentes e os elementos lixiviados (Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K, Na, V, Li, Be, Sc, Ti, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Ge, As, Se, Rb, Y, Mo, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, Th, U, La e Ce), elementos em solo (SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5, As, Ba, Cr, Co, Ga, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sn, Sr, Th, V, Y, Zn e Zr) e microbiológicos (Contagem, Fungos e Leveduras) foram as variáveis dependentes.

Os elementos lixiviados, em solo e microbiológicos foram submetidas à analise de variância considerando o efeito das áreas, através da Proc GLM do SAS (SAS 9.1, SAS Inst., Cary, NC), utilizando modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + e_{ij} \ , \qquad \text{(Equação 1)}$$

onde:

Y_{ij} = $j^{ésima}$ observação (Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K, Na, V, Li, Be, Sc, Ti, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Ge, As, Se, Rb, Y, Mo, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, Th, U, La, Ce, SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5, Contagem, Fungos e Leveduras) na $i^{ésima}$ Área;

μ = estimativa de média geral;

A_i = efeito do $i^{ésimo}$ nível do fator "Área" (i = 1 e 2);

e_{ij} = erro aleatório inerente a cada observação ~ NID $(0,\sigma^2_e)$.

Todos os testes foram realizados com nível de significância de P<0,05.

Nas análises relacionadas às Unidades Formadoras de Colônias (UFC/g), em virtude dos resultados serem muito altos, os valores foram padronizados para efeito de análise estatística. Para isso, os resultados dos isolamentos foram divididos por 1.000 (UFC/g)/1000.

As variáveis que apresentaram diferença significativa pelo método de Tukey foram correlacionadas através do método de correlação de Pearson-r para avaliar o comportamento dos elementos químicos analisados entre si e nas diferentes profundidades de coleta das amostras de solo com a utilização do software GraphPad Instat.

6 RESULTADOS

6.1 Sondagem e amostragem de solo

A sondagem ST-06, localizada à montante da área de estudo e considerada o background da área, foi perfurada até a profundidade de 32,00 metros, pois foi detectada uma camada de material consolidado ao qual a metodologia de perfuração empregada não permitia a continuação dos trabalhos.

A Tabela 2 apresenta as coordenadas geográficas e o nível d'água detectado nas sondagens.

Tabela 2 - Localização e dados das sondagens

Sondagem	Coordenadas Geográficas (UTM)		Profundidade (m)
	Longitude	Latitude	
ST-01	236396 E	7648979 S	25,38
ST-06	236689 E	7649500 S	32,40

6.2 Ensaios em amostras de solo

6.2.1 Fluorescência de raios x e ensaios de perda ao fogo

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados da análise de solo pelo método de fluorescência de raios x e ensaios de perda ao fogo, realizados com as amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 localizada no interior do tanque de disposição de vinhaça, e as Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados das amostras de solo pertencentes à sondagem ST-06 (background).

Conforme observado nas Tabelas 3 e 5 há uma fração em massa significativa de SiO_2 presente nos solos analisados que varia entre 40,6 a 70,1 % e 40,2 a 71,4 % nas sondagens ST-01 e ST-06 respectivamente, e nota-se uma tendência no aumento da porcentagem de SiO_2 com o avanço da profundidade, assim como o K_2O que variou entre 0,02 a 0,12 % na sondagem ST-01 e 0,03 a 0,09 % na sondagem ST-06 (Figuras 12 e 13). Em comparação, as concentrações de Al_2O_3 (ST-01 - 17,8 a 29,3 % e ST-06 – 15,5 a 29,1 %), Fe_2O_3 (ST-01 - 5,2 e 15,0 % e ST-06 – 5,2 a 17,8 %), TiO_2 (ST-01 - 1,73 a 3,83 % e 1,7 a 4,1 %), MnO (ST-01 - 0,03 a 0,06 % e ST-06 – 0,02 a 0,07 %) e CaO (ST-01 - 0,05 a 0,15 % e ST-06 – 0,01 a 0,05 %) apresentaram uma tendência

inversa, ou seja, com o avanço da profundidade há a redução das frações em massa (Figuras 14 e 15).

A fração em massa de Na_2O não apresentou variação em profundidade na sondagem ST-01 e permaneceu com frações em massa de 0,06 %, e na sondagem ST-06 apresentou frações em massa entre 0,04 e 0,05 %. Enquanto que o P_2O_5 exibiu frações em massa variando entre 0,13 a 0,24 % na sondagem ST-01 e 0,08 a 0,2 % na sondagem ST-06.

Com relação aos ensaios de perda de massa à 105 ºC e 1.000 ºC, utilizados para obter informações sobre a quantidade de água de constituição e/ou matéria orgânica existente na amostra, os resultados da sondagem ST-01 variaram entre 0,42 a 1,09 % e 4,29 % a 9,52 %, respectivamente, e apresentam redução com o aumento da profundidade de coleta das amostras de solo. Com relação às amostras pertencentes à sondagem ST-06, nota-se que os resultados dos ensaios de perda ao fogo à 105 ºC e 1.000 ºC variaram entre 0,47 a 0,99 % e 4,0 e 8,5 %, respectivamente, sendo que na análise da perda em massa a 1.000 ºC houve uma redução das porcentagens com o aumento da profundidade.

Tabela 3 - Resultados da análise das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 pelo método de fluorescência de raios x (óxidos e perda ao Fogo – à 105 ºC e 1000 ºC)

Amostras	Profundidade de Coleta (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	% Perda (105ºC)	% P.F. (1000ºC)
AM-01	1	45,0	3,83	27,4	14,3	0,06	0,05	0,10	0,06	0,02	0,19	1,09	7,74
AM-02	1,7	44,3	3,66	27,7	13,9	0,06	0,05	0,14	0,06	0,02	0,21	0,96	8,65
AM-03	2	40,6	3,84	29,3	15,0	0,06	0,04	0,15	0,06	0,03	0,20	1,00	9,52
AM-04	3	46,0	3,57	27,3	13,3	0,06	0,05	0,15	0,06	0,03	0,24	0,93	8,17
AM-05	4	48,5	3,51	25,6	13,1	0,06	0,05	0,11	0,06	0,03	0,15	1,06	7,60
AM-06	5	51,2	3,42	24,6	11,7	0,06	0,06	0,13	0,06	0,03	0,13	1,08	7,33
AM-07	6	52,1	3,36	24,4	11,0	0,06	0,07	0,12	0,06	0,03	0,13	1,05	7,48
AM-08	7	50,4	3,37	24,9	12,2	0,06	0,07	0,09	0,06	0,06	0,14	0,94	7,57
AM-09	8	51,4	3,22	24,6	12,1	0,06	0,06	0,10	0,06	0,06	0,22	0,78	7,15
AM-10	9	49,6	3,34	25,3	13,0	0,06	0,05	0,09	0,06	0,08	0,15	0,81	7,34
AM-11	9,5	48,6	3,42	25,7	13,6	0,06	0,05	0,08	0,06	0,08	0,14	0,78	7,28
AM-12	10	49,3	3,23	24,5	14,1	0,06	0,05	0,07	0,05	0,08	0,16	1,02	7,27
AM-13	10,7	48,0	3,43	26,0	13,4	0,06	0,05	0,09	0,06	0,08	0,17	0,84	7,67
AM-14	11	52,8	3,10	23,8	12,1	0,06	0,05	0,06	0,06	0,10	0,13	0,85	6,85
AM-15	12	51,6	3,12	24,5	12,3	0,06	0,05	0,06	0,06	0,10	0,14	0,91	6,95
AM-16	13	53,6	2,88	23,9	11,4	0,06	0,05	0,06	0,06	0,11	0,14	0,75	6,98
AM-17	14	57,4	2,62	22,1	10,2	0,05	0,06	0,07	0,06	0,10	0,15	0,69	6,38
AM-18	15	53,8	2,88	24,0	11,4	0,04	0,05	0,06	0,06	0,11	0,16	0,72	6,67
AM-19	16	61,8	2,27	20,7	8,1	0,04	0,06	0,05	0,06	0,10	0,15	0,74	5,80
AM-20	17	60,0	2,40	21,8	8,7	0,04	0,06	0,06	0,06	0,11	0,16	0,71	5,82
AM-21	18	62,3	2,22	20,8	8,0	0,04	0,06	0,05	0,06	0,11	0,16	0,65	5,41
AM-22	19	63,0	2,22	20,5	7,8	0,04	0,06	0,05	0,06	0,10	0,15	0,71	5,26
AM-23	20	58,7	2,52	23,0	9,0	0,04	0,06	0,05	0,06	0,12	0,18	0,61	5,54
AM-24	21	59,4	2,43	22,7	9,0	0,04	0,06	0,05	0,06	0,12	0,18	0,48	5,42
AM-25	22	61,3	2,29	22,2	8,0	0,04	0,06	0,09	0,06	0,12	0,18	0,44	5,19
AM-26	23	66,5	2,01	19,7	6,1	0,03	0,07	0,06	0,06	0,12	0,15	0,58	4,67
AM-27	24	70,1	1,73	17,8	5,2	0,03	0,07	0,09	0,06	0,12	0,14	0,42	4,29

Tabela 4 - Resultados da análise das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 pelo método de fluorescência de raios x (elementos traços)

Amostras	Profundidade de Coleta (m)	Concentrações dos elementos traços (µg/g)															
		As	Ba	Cr	Cu	Ga	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb	Sn	Sr	Th	V	Y	Zn	Zr
AM-01	1	5,6	50	63	36	20,0	4,3	37	7,4	8,3	<2	<4	23,8	14,4	218	6,9	50	581
AM-02	1,7	5,6	26,3	46	38	18,9	3,8	35	11,2	10,1	2,2	<4	26,9	15,0	195	6,1	34	605
AM-03	2	5,5	47	55	40	18,9	4,3	37	10,5	11,1	2,1	<4	26,7	13,8	201	7,0	36	637
AM-04	3	5,7	48	51	42	20,8	3,5	35	9,0	11,3	2,5	<4	27,2	14,6	203	6,3	33	620
AM-05	4	5,2	42	47	38	19,1	4,0	35	10,0	12,7	3,0	<4	26,2	10,8	203	5,5	33	606
AM-06	5	5,1	42	50	40	18,4	3,6	33	8,2	12,0	3,1	<4	26,6	13,2	201	5,4	33	608
AM-07	6	5,1	48	48	40	18,5	4,2	32	10,8	12,7	3,2	4,0	27,0	11,5	209	5,4	35	594
AM-08	7	5,3	55	49	42	18,2	4,0	33	10,7	10,9	3,9	<4	28,1	14,8	208	6,4	33	580
AM-09	8	5,8	55	45	43	20,3	3,5	33	10,1	11,7	3,4	<4	29,9	11,8	206	5,9	34	554
AM-10	9	5,4	56	41	44	17,9	3,3	35	10,3	13,0	3,0	6,9	29,8	12,6	218	6,5	35	566
AM-11	9,5	5,3	63	54	46	21,3	3,7	36	10,8	14,3	3,2	<4	32	11,7	235	7,2	38	573
AM-12	10	5,5	75	56	44	19,8	3,7	35	11,7	13,3	4,0	<4	34	15,1	264	6,9	39	561
AM-13	10,7	5,4	70	51	45	20,3	4,0	36	12,0	13,8	4,0	<4	36	12,8	223	6,5	39	589
AM-14	11	5,2	88	44	39	20,4	3,0	33	10,0	15,3	4,1	<4	40	12,7	244	7,6	38	548
AM-15	12	5,5	76	42	40	20,6	4,1	36	9,6	15,5	4,2	<4	45	13,7	232	8,4	37	572
AM-16	13	5,6	86	40	37	20,6	3,3	35	8,8	16,5	5,9	<4	50	12,1	226	9,1	40	571
AM-17	14	5,8	73	37	35	18,2	3,0	34	7,9	16,8	6,6	<4	56	11,8	202	9,1	39	554
AM-18	15	5,7	85	39	36	19,1	3,1	35	7,6	17,0	6,3	<4	53	14,3	221	9,1	40	524
AM-19	16	5,3	97	37	30	15,1	3,0	31	7,2	15,7	6,1	<4	58	11,8	179	8,5	34	534
AM-20	17	5,7	98	60	31	14,7	3,1	33	9,2	16,8	6,9	<4	60	12,4	183	9,5	34	563
AM-21	18	5,5	92	46	27,7	14,2	3,0	31	7,8	14,3	7,3	<4	59	12,3	166	8,7	33	532
AM-22	19	4,8	97	41	28,5	13,2	3,3	31	7,1	16,6	7,3	<4	59	10,3	161	8,3	33	551
AM-23	20	5,4	111	42	30	14,7	2,8	32	7,8	15,1	6,5	<4	63	13,0	184	9,5	35	546
AM-24	21	5,4	115	42	28,9	15,3	2,4	30	6,9	14,1	7,0	4,0	59	11,9	180	9,4	33	518
AM-25	22	4,6	119	41	27,0	12,9	3,1	28,9	5,8	13,8	5,6	<4	57	10,8	163	8,8	30	495
AM-26	23	3,9	120	53	22,4	11,8	3,2	27,7	6,3	15,0	5,0	<4	56	11,1	141	9,8	263	541
AM-27	24	2,5	119,0	44	19,1	10,7	2,8	25,0	6,3	18,2	4,6	<4	49	8,8	139	11,4	22,9	504

Tabela 5 - Resultados da análise das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 pelo método de fluorescência de raios x (óxidos e perda ao Fogo – à 105 ºC e 1000 ºC)

Amostras	Profundidade de Coleta (m)	SiO_2 (%)	TiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	% Perda (105ºC)	% P.F. (1000ºC)
AM-01	1	42,6	3,9	28,5	16	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,67	7,8
AM-02	2	45,8	3,6	27,3	15,2	0,06	0,04	0,02	0,05	0,05	0,12	0,61	7,1
AM-03	3	41,5	3,8	28,7	16,3	0,06	0,03	0,01	0,05	0,06	0,12	0,94	8,3
AM-04	4	43,9	3,7	27,6	15,5	0,06	0,04	0,02	0,05	0,05	0,12	0,86	8
AM-05	5	40,2	4,1	28,6	17,8	0,07	0,03	0,02	0,05	0,05	0,11	0,89	7,9
AM-06	6	40,5	3,9	29,1	16,7	0,07	0,03	0,02	0,05	0,05	0,12	0,84	8,5
AM-07	7	42,1	4	27,8	17,2	0,07	0,03	0,02	0,05	0,04	0,1	0,86	7,5
AM-08	8	43	3,8	27,3	16,8	0,07	0,03	0,01	0,05	0,04	0,1	0,88	7,7
AM-09	9	43,4	3,7	27,9	16,2	0,07	0,04	0,01	0,05	0,04	0,1	0,85	7,5
AM-10	10	44,2	3,7	27,4	16,1	0,07	0,04	0,01	0,05	0,04	0,1	0,78	7,3
AM-11	11	44,4	3,7	27,1	16,3	0,07	0,04	0,01	0,04	0,04	0,1	0,72	7,3
AM-12	12	45,4	3,7	26	16,5	0,07	0,05	0,01	0,05	0,04	0,09	0,8	7,1
AM-13	13	47,1	3,5	26	15,1	0,07	0,05	0,01	0,05	0,03	0,09	0,81	7,1
AM-14	14	45	3,6	27,1	15,9	0,07	0,04	0,01	0,05	0,04	0,1	0,67	7,3
AM-15	15	46,6	3,4	26,1	15,2	0,07	0,05	0,01	0,05	0,04	0,1	0,85	7,4
AM-16	16	47,1	3,2	25,6	15,2	0,07	0,06	0,01	0,04	0,04	0,11	0,99	7,4
AM-17	17	48,2	3,4	26,3	13,6	0,07	0,04	0,02	0,05	0,06	0,12	0,85	7,2
AM-18	18	51,7	3	24,7	12,6	0,06	0,05	0,02	0,05	0,05	0,12	0,87	6,6
AM-19	19	58,3	2,6	23	9,4	0,04	0,06	0,01	0,05	0,06	0,11	0,75	5,5
AM-20	20	72,1	1,7	15,5	5,8	0,03	0,08	0,01	0,04	0,04	0,08	0,62	4
AM-21	21	68,2	1,9	18,6	6,3	0,03	0,07	0,01	0,04	0,05	0,11	0,59	4,1
AM-22	22	59,3	2,5	22,4	8,8	0,04	0,06	0,02	0,04	0,06	0,13	0,83	5,7
AM-23	23	59,7	2,4	22,5	8,2	0,04	0,06	0,01	0,05	0,08	0,13	0,85	6
AM-24	24	57,7	2,5	23	8,9	0,04	0,06	0,02	0,05	0,08	0,14	0,91	6,5
AM-25	25	56,9	2,7	24	9,3	0,04	0,06	0,02	0,05	0,09	0,15	0,62	6,1
AM-26	26	61,2	2,5	21,5	8,3	0,04	0,06	0,01	0,05	0,07	0,14	0,71	5,3
AM-27	27	59,3	2,6	22,5	9	0,04	0,06	0,01	0,05	0,08	0,15	0,76	5,5
AM-28	28	60	2,5	21,4	9,5	0,04	0,07	0,01	0,05	0,07	0,17	0,77	5,3
AM-29	29	52,1	3,1	25	12,2	0,05	0,05	0,01	0,05	0,09	0,2	0,64	6,3
AM-30	30	64,4	2,3	20	7,1	0,03	0,07	0,02	0,05	0,08	0,15	0,66	5,1
AM-31	31	64,4	2,2	20,7	7	0,03	0,07	0,01	0,05	0,09	0,18	0,47	4,8
AM-32	32	71,4	1,7	16,7	5,2	0,02	0,08	0,01	0,04	0,07	0,14	0,59	4,1

Tabela 6 - Resultados da análise das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 pelo método de fluorescência de raios x (elementos traços)

Amostras	Profundidade de Coleta (m)	As	Ba	Cr	Cu	Ga	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb	Sn	Sr	Th	V	Y	Zn	Zr
AM-01	1	6,7	28,8	37	41	24,9	4	37	16,5	10,7	3,9	73	13,8	12,5	227	7	36	594
AM-02	2	6,6	17,3	38	38	22,6	3,5	35	15,6	10,2	3,9	43	13,1	13,7	235	7	35	533
AM-03	3	7,3	26,2	36	40	26,6	4	39	16,3	10,4	3,4	34	14,1	17,4	238	7,5	37	592
AM-04	4	6,7	27,4	38	41	26,3	3,7	37	16,6	11,2	2,8	39	14	14,9	237	7,8	36	600
AM-05	5	7,6	32	38	46	27,6	4	41	17,6	11,1	3	20	16,8	16,1	247	9,1	39	592
AM-06	6	6,8	26,4	39	44	25,4	4,1	41	17,2	12,6	3	43	15,1	17,9	241	7,8	38	624
AM-07	7	7,7	27,9	35	45	26,3	3,6	39	17,7	11,5	4,3	26	15,4	17,3	242	7,7	38	588
AM-08	8	7,7	27,6	36	49	27,9	3,8	40	18,2	12,9	4	18	17,4	16,1	249	8,8	40	603
AM-09	9	6,8	28,1	38	48	26	3,6	38	18,1	13	3,9	19	15,9	17,2	246	8,3	38	583
AM-10	10	7	31	35	47	26,5	3,6	39	19,4	13,9	3,4	18	16,9	17,5	248	8,5	39	596
AM-11	11	6,7	39	37	51	27,2	3,9	39	18,9	14,4	3	17	18	15,4	254	8,8	42	598
AM-12	12	7	34	34	50	26,1	3,6	38	21,4	13,8	3,5	16	17,5	14,7	247	8,6	41	561
AM-13	13	6,6	41	32	47	25,7	3,7	38	17,7	14,1	2,7	17	18,6	17,7	252	8,3	41	587
AM-14	14	7,1	42	36	49	27	3,7	38	20,1	15,3	3,9	14	20,3	13,4	256	9,1	43	587
AM-15	15	7,2	56	43	49	26,6	3,4	37	17,8	14,9	4,1	16	22,7	12,2	258	8,7	44	551
AM-16	16	6,6	55	39	45	28,1	3,6	35	16,7	14,1	4,3	17	26,1	11,1	257	9,2	43	512
AM-17	17	5,9	76	38	38	26,4	3,2	37	14,7	16,5	6	17	34	16,1	230	9,4	42	583
AM-18	18	6	70	36	37	22,9	2,8	33	12,9	13,7	4	22	28	11,2	234	8,5	39	494
AM-19	19	3,5	65	40	26,6	19,3	2,2	28,7	8,1	17,5	3,4	16	33	11,9	195	8,1	31	446
AM-20	20	<3	47	24,3	17,7	12,8	1,7	20,9	6	13,3	3,7	13	24,4	8,9	148	7	22,9	382
AM-21	21	<3	62	31	19	13,8	1,9	22	5,9	13,7	3,1	15	28,6	7,9	152	7,5	24,2	378
AM-22	22	<3	62	34	26,5	17,4	2,4	28,9	9	18,4	4,3	21	34	13,8	186	8,8	33	488
AM-23	23	<3	95	40	28,4	17,6	2,3	31	8,2	20,6	4,6	19	42	11,7	179	10,8	34	521
AM-24	24	3,6	76	38	30	18,7	3	32	9,6	20,2	5,2	24	41	12,6	188	10,8	36	502
AM-25	25	3,4	95	39	32	19,7	3	34	9,7	19,4	4,8	22	48	13,2	187	11	37	568
AM-26	26	<3	95	33	31	18,1	2,4	29,3	8,7	18,8	3,6	20	44	10,8	179	11	34	474
AM-27	27	<3	93	39	34	17,4	2,8	30	9,4	18,9	4,9	22	46	10,1	188	11,9	36	478
AM-28	28	3	97	46	34	16,4	2,9	30	9	16,6	4,4	20	50	10,8	187	11,7	36	468
AM-29	29	5,8	132	45	40	21,1	3,4	35	10,9	17,3	4,1	22	58	12	215	13,3	45	532
AM-30	30	3,4	111	36	26,1	16,2	2,9	30	7,1	20	4,1	19	53	10,5	167	12,4	31	538
AM-31	31	3,6	130	38	26,1	16,1	2,8	28,9	6,3	18,2	4,3	18	55	10,5	172	13,5	28,2	509
AM-32	32	3,1	120	31	19,5	12,1	2,3	24,9	5,9	14,9	4,9	15	49	9,6	143	12,2	24,4	485

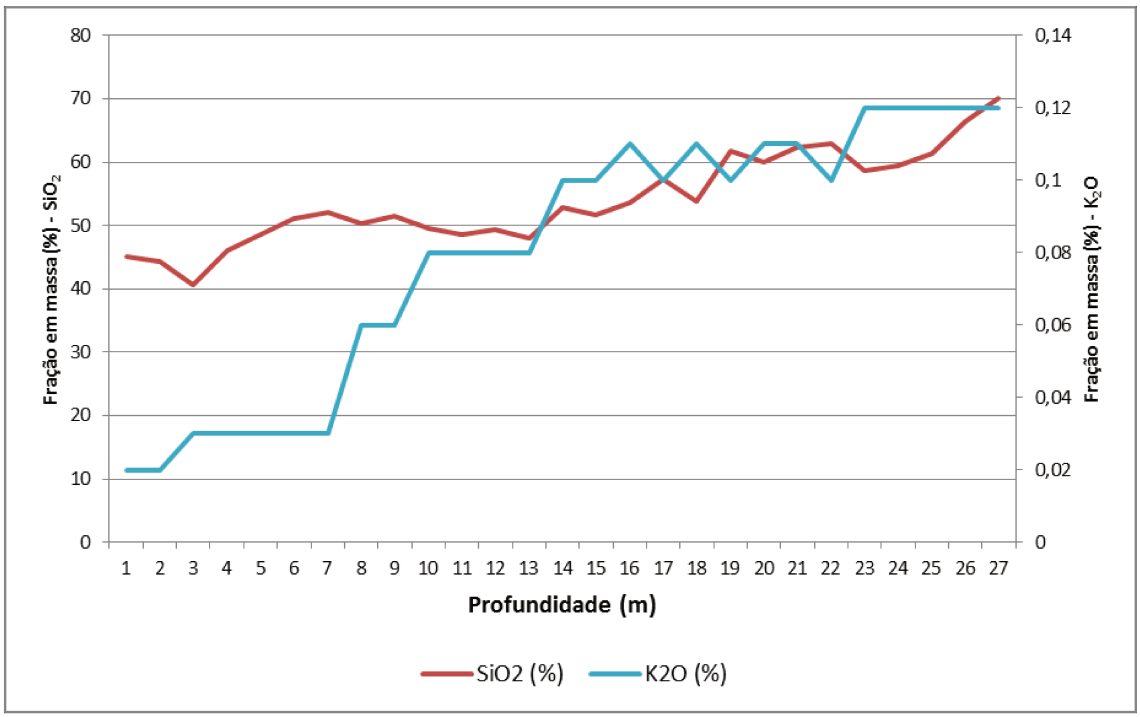

Figura 12 - Variação das concentrações de SiO_2 e K_2O nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01

Figura 13 - Variação das concentrações de SiO_2 e K_2O nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06

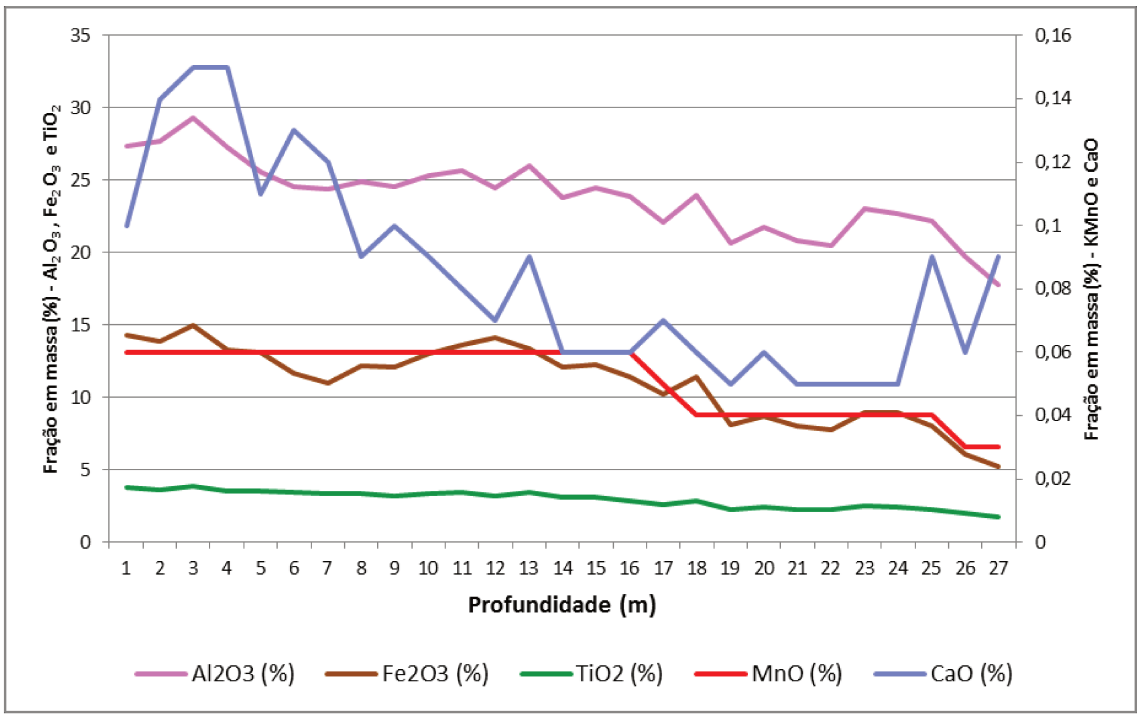

Figura 14 - Variação das concentrações de Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MnO e CaO nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01

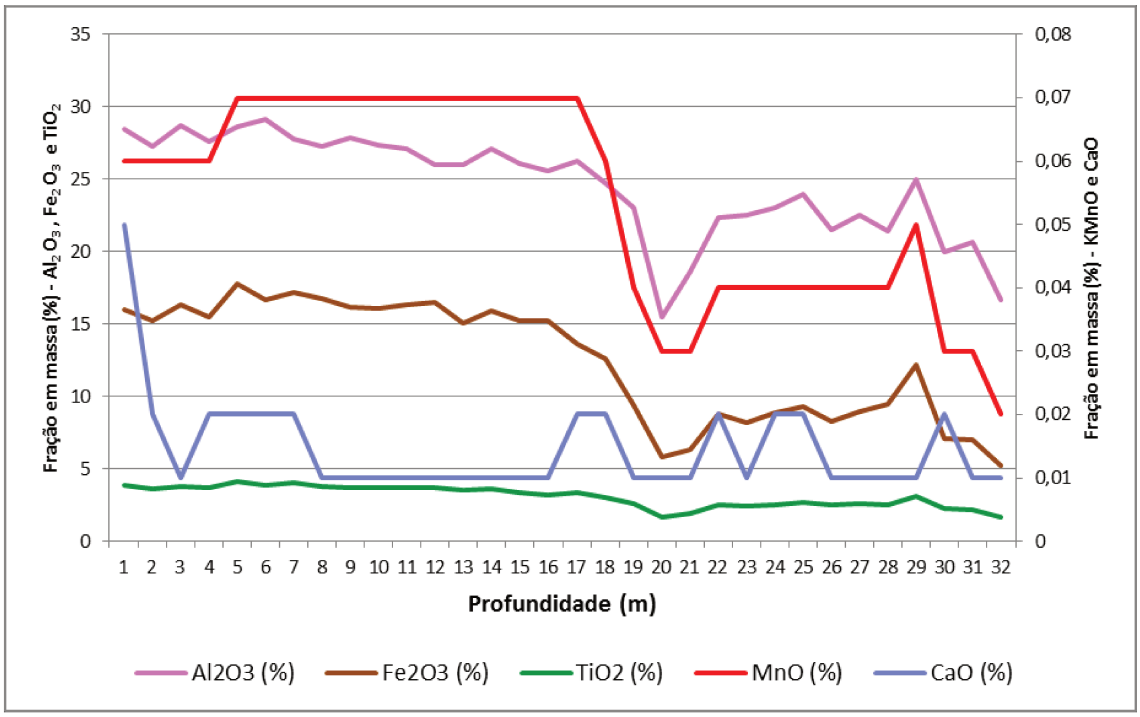

Figura 15 - Variação das concentrações de Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MnO e CaO nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise estatística comparando os resultados obtidos em ambas as áreas de estudo. Nota-se que as maiores frações em massa dos elementos CaO, Na_2O, K_2O e P_2O_5 obtidas nas amostras de solo ST-01 (área com vinhaça) são significativamente ($p<0,05$) mais elevadas do que os resultados obtidos na sondagem ST-06 (sem vinhaça). As diferenças nos resultados dos demais óxidos analisados em ambas as sondagens não foram significativas, assim como as diferenças observadas nos ensaios de perda ao fogo a 105 ºC e 1000 ºC.

Tabela 7 - Comparação das médias dos resultados das análises das amostras de solo das sondagens ST-01 e ST-06 pelo método de fluorescência de raios x (óxidos e perda ao Fogo – à 105 ºC e 1000 ºC)

Variável	Área	N	Média	p
SiO_2 (%)	ST-01	27	53,974[a]	0,4143
	ST-06	32	52,116[a]	
TiO_2 (%)	ST-01	27	2,9589[a]	0,4539
	ST-06	32	3,0906[a]	
Al_2O_3 (%)	ST-01	27	23,8815[a]	0,4203
	ST-06	32	24,5594[a]	
Fe_2O_3 (%)	ST-01	27	11,1481[a]	0,1604
	ST-06	32	12,475[a]	
MnO (%)	ST-01	27	0,0515[a]	0,5468
	ST-06	32	0,0538[a]	
MgO (%)	ST-01	27	0,0563[a]	0,1423
	ST-06	32	0,0515[a]	
CaO (%)	ST-01	27	0,0844[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,0147[b]	
Na_2O (%)	ST-01	27	0,0596[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,0481[b]	
K_2O (%)	ST-01	27	0,0804[a]	< 0,0020*
	ST-06	32	0,0569[b]	
P_2O_5 (%)	ST-01	27	0,1629[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,1234[b]	
% Perda (105ºC)	ST-01	27	0,8000[a]	0,4174
	ST-06	32	0,7659[a]	
% P.F. (1000ºC)	ST-01	27	6,7407[a]	0,5463
	ST-06	32	6,5406[a]	

Médias com letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p<0,05$)

A análise dos elementos traços na sondagem ST-01 indicou a variação das frações em massa dos seguintes elementos: As (2,5 a 5,8 µg/g), Ba (26 a 120 µg/g), Cr (37 a 63 µg/g), Cu (19,1 a 46 µg/g), Ga (10,7 a 21,3 µg/g), Mo (2,8 a 4,3 µg/g), Nb (25 a 37 µg/g), Ni (5,8 a 12 µg/g), Pb (8,3 a 18,2 µg/g), Rb (2,1 a 7,3 µg/g), Sn (< 4,0 a 6,9 µg/g), Sr (23,8 a 63 µg/g), Th (8,8 a 15,1 µg/g), V (139 a 264 µg/g), Y (5,4 a 11,4 µg/g), Zn (22,9 a 50 µg/g) e Zr (495 a 637 µg/g) (Tabela 4). Nas amostras da sondagem ST-06, as frações em massa dos elementos traços analisados variaram da seguinte forma: As (< 3 a 7,7 µg/g), Ba (17,3 a 132 µg/g), Cr (24,3 a 46 µg/g), Cu (17,7 a 51 µg/g), Ga (12,1 a 28,1 µg/g), Mo (1,7 a 4,1 µg/g), Nb (20,9 a 41 µg/g), Ni (6 a 21,4 µg/g), Pb (10,2 a 20,6 µg/g), Rb (2,7 a 6 µg/g), Sn (13 a 76 µg/g), Sr (13,1 a 58 µg/g), Th (7,9 a 17,9 µg/g), V (143 a 258 µg/g), Y (7 a 13,5 µg/g), Zn (22,9 a 45 µg/g) e Zr (378 a 624 µg/g) (Tabela 6).

Com relação ao comportamento dos elementos traços analisados na sondagem ST-01, nota-se que as frações em massa dos elementos Ba, Pb, Rb, Sr e Y aumentam juntamente com a profundidade de coleta das amostras, ou seja, apresentam as maiores frações em massa em profundidades elevadas (Figura 16). Os elementos Cu, Ga, Mo, Nb, Ni, V e Zr apresentam comportamento inverso, uma vez que as maiores frações em massa são detectadas em profundidades mais rasas, e diminuem com o aumento da profundidade de coleta (Figura 17) Os outros elementos analisados não apresentaram uma distribuição das frações em massa relacionada com a profundidade de coleta.

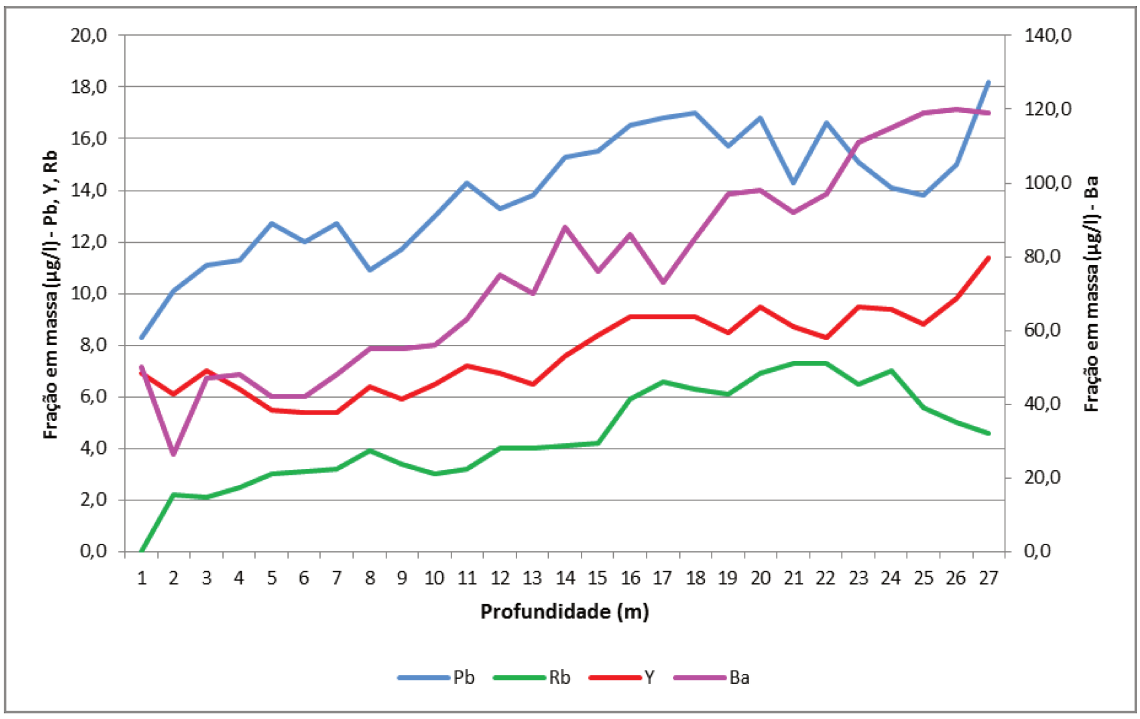

Figura 16 - Variação das concentrações de Ba, Pb, Y e Rb nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01

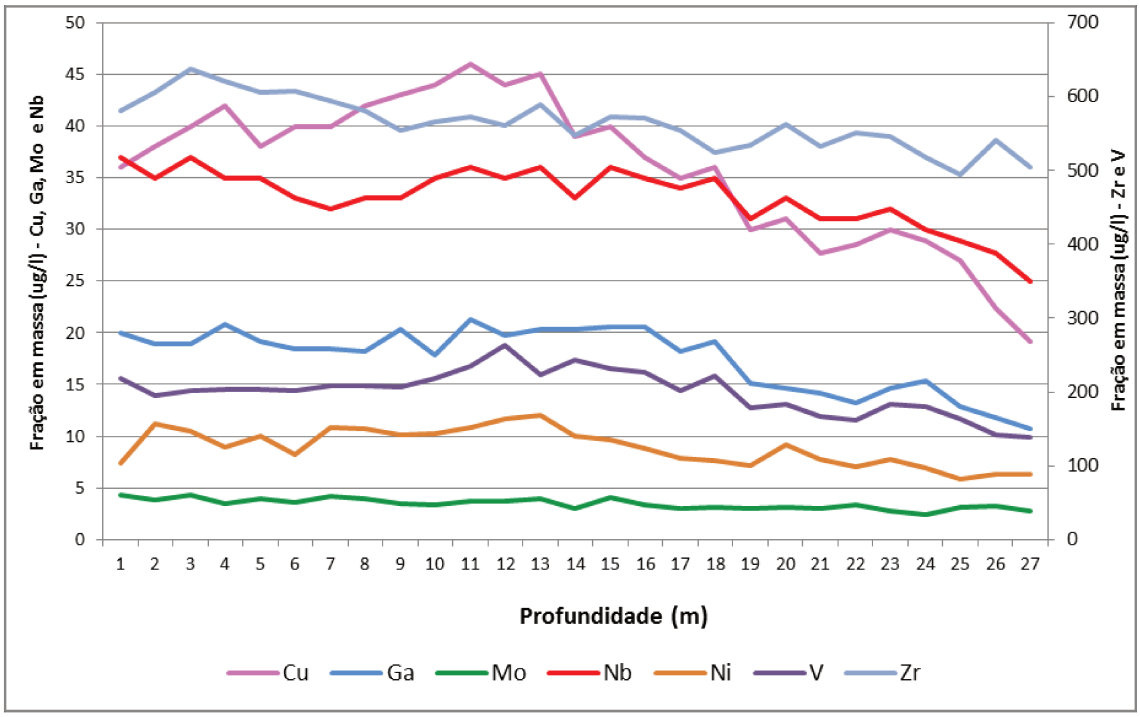

Figura 17 - Variação das concentrações de Cu, Ga, Mo, Nb, Ni, V e Zr nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01

A análise do comportamento das frações em massa obtidas nas amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 indicou que os elementos Ba, Pb, Sr e Y apresentam um aumento das frações em massa juntamente com o avanço das profundidades de coleta das amostras de solo, ou seja, as maiores concentrações estão localizadas em maiores profundidades (Figura 18). Enquanto que os elementos As, Cu, Ga, Mo, Nb, Ni, Sn e V apresentam uma redução das frações em massa com o aumento da profundidade das amostras, sendo que as maiores concentrações encontram-se em menores profundidades (Figura 19).

A Tabela 8 apresenta os resultados da comparação entre as médias das frações em massa dos elementos traços pelo método de Tukey. Observa-se que somente as diferenças entre as frações em massa dos elementos Cr, Ga, Ni, Sn, Sr, Y e Zr nas sondagens ST-01 e ST-06 foram significativas. Para os demais elementos traço analisados, a diferença entre os resultados não foi significativa.

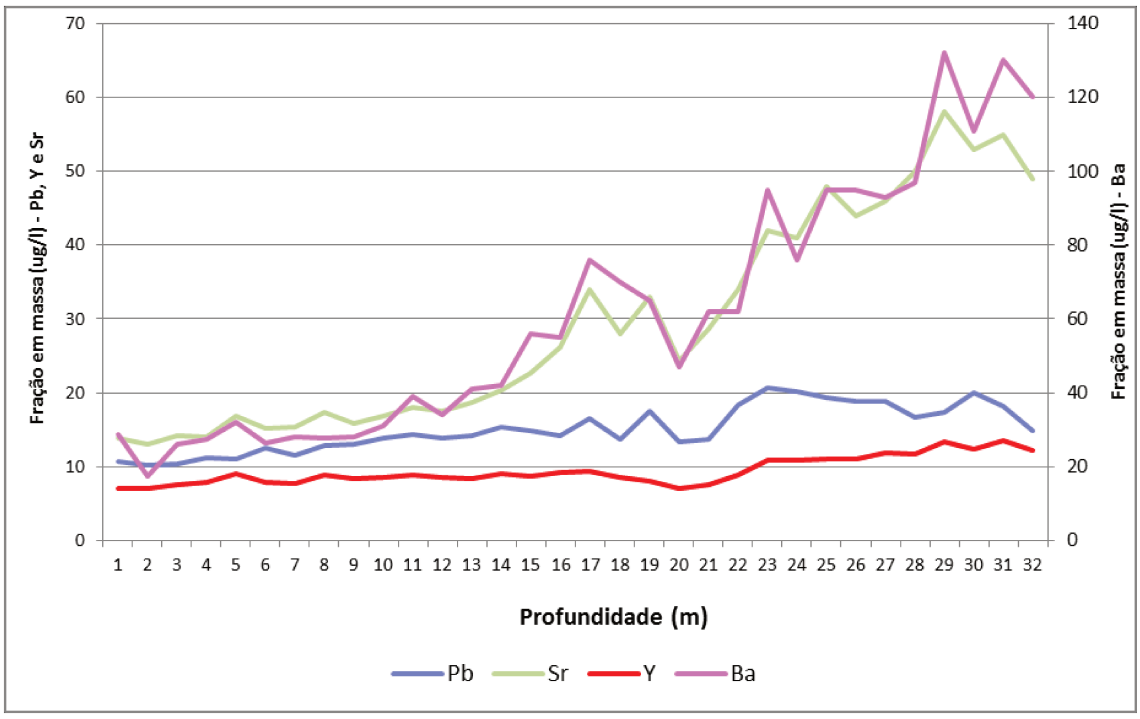

Figura 18 - Variação das concentrações de Pb, Sr, Y e Ba nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06

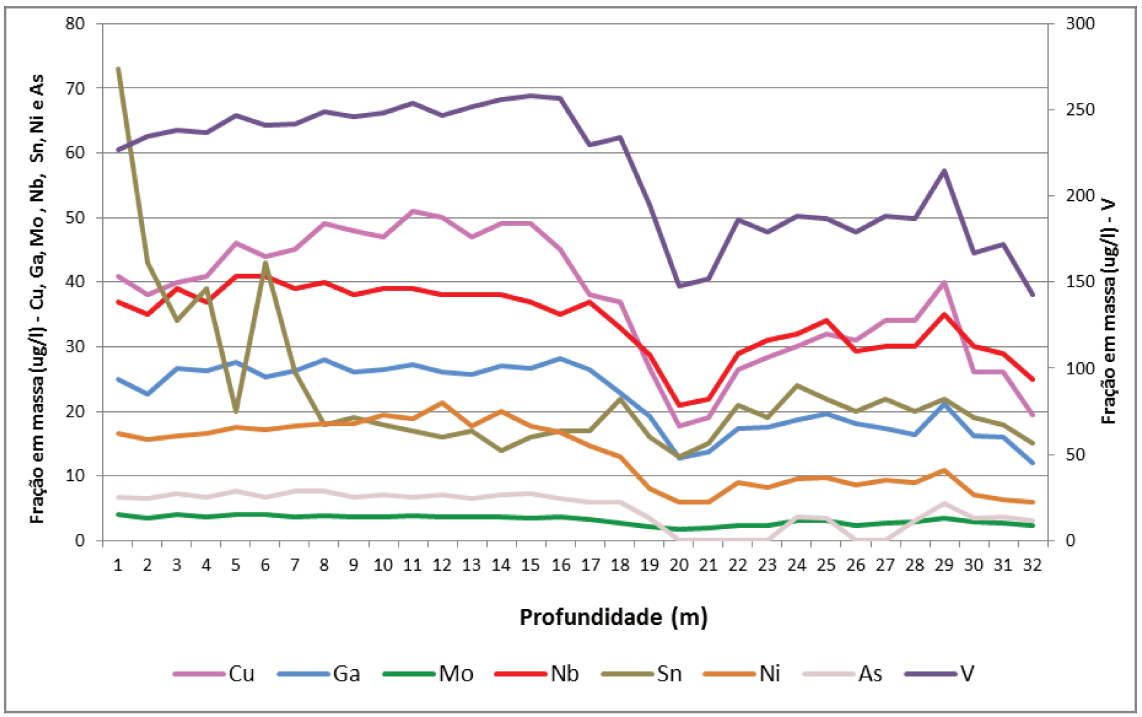

Figura 19 - Variação das concentrações de Cu, Ga, Mo, Nb, Sn, Ni, As e V nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06

Tabela 8 - Comparação das médias dos resultados das análises das amostras de solo das sondagens ST-01 e ST-06 pelo método de fluorescência de raios x (elementos traço)

Variável	Área	N	Média	p
As	ST-01	27	5,2370[a]	0,4201
	ST-06	32	4,7938[a]	
Ba	ST-01	27	76,048[a]	0,0784
	ST-06	32	61,428[a]	
Cr	ST-01	27	46,815[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	36,853[b]	
Cu	ST-01	27	35,911[a]	0,5282
	ST-06	32	37,372[a]	
Ga	ST-01	27	17,552[a]	<0,0001*
	ST-06	32	22,088[b]	
Mo	ST-01	27	3,4481[a]	0,0958
	ST-06	32	3,1813[a]	
Nb	ST-01	27	33,133[a]	0,4801
	ST-06	32	33,956[a]	
Ni	ST-01	27	8,926[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	13,350[b]	
Pb	ST-01	27	13,9222[a]	0,1257
	ST-06	32	15,0656[a]	
Rb	ST-01	27	4,4815[a]	0,1508
	ST-06	32	3,9531[a]	
Sn	ST-01	27	0,552[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	22,969[b]	
Sr	ST-01	27	42,156[a]	0,0013*
	ST-06	32	29,491[b]	
Th	ST-01	27	12,5593[a]	0,2163
	ST-06	32	13,3344[a]	
V	ST-01	27	200,185[a]	0,0961
	ST-06	32	215,125[a]	
Y	ST-01	27	7,7481[b]	0,0008
	ST-06	32	9,3781[a]	
Zn	ST-01	27	35,081[a]	0,3601
	ST-06	32	36,366[a]	
Zr	ST-01	27	563,96[a]	0,0451*
	ST-06	32	535,84[b]	

Médias com letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p<0,05)

As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados das correlações de Pearson entre os elementos detectados nas amostras de solo ST-01 e ST-06, cujas diferenças entre as médias das áreas foram significativas pelo método de Tukey.

Tabela 9 - Resultados da correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nas amostras de solo das sondagens ST-01

	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	Cr (µg/g)	Ga (µg/g)	Ni (µg/g)	Sn (µg/g)	Sr (µg/g)	Y (µg/g)	Zr (µg/g)
Prof. Coleta (m)	-0,752**	0,055	0,934**	-0,286	-0,418*	-0,791**	-0,679**	-0,160	0,908**	0,870**	-0,870**
CaO (%)		0,091	-0,860**	0,454*	0,368	0,371	0,391*	0,145	-0,800**	-0,673**	0,730**
Na_2O (%)			0,002	0,021	-0,268	-0,146	-0,310	0,053	0,116	0,106	0,017
K_2O (%)				-0,338	-0,463*	-0,565*	-0,525*	-0,144	0,895**	0,863**	-0,844**
P_2O_5 (%)					0,203	0,148	0,046	-0,197	-0,198	-0,192	0,228
Cr						0,198	0,326	-0,132	-0,466*	-0,311	0,472*
Ga							0,722**	0,051	-0,679**	-0,666**	0,636*
Ni								0,242	-0,677**	-0,696**	0,659*
Sn									-0,264	-0,286	0,098
Sr										-0,864**	-0,757**
Y											-0,746**

* - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,0001$;

Tabela 10 - Resultados da correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nas amostras de solo das sondagens ST-06

	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	P_2O_5 (%)	Cr (µg/g)	Ga (µg/g)	Ni (µg/g)	Sn (µg/g)	Sr (µg/g)	Y (µg/g)	Zr (µg/g)
Prof. Coleta (m)	-0,358*	-0,199	0,720**	0,585*	0,056	-0,783**	-0,805**	-0,534*	0,947**	0,829**	-0,627**
CaO (%)		0,188	0,015	0,187	0,041	0,141	0,108	0,817**	-0,206	-0,264	0,283
Na_2O (%)			0,188	0,208	0,490*	0,340	0,287	0,270	-0,018	0,120	0,475*
K_2O (%)				0,871**	0,363*	-0,613*	-0,712**	-0,023	0,880**	0,814**	-0,286
P_2O_5 (%)					0,510*	-0,458*	-0,543*	0,217	0,785**	0,772**	-0,163
Cr						0,247	0,126	0,155	0,256	0,361*	0,279
Ga							0,952**	0,222	-0,721**	-0,479*	0,819**
Ni								0,219	-0,790**	-0,528*	0,799**
Sn									-0,344	-0,347	0,356*
Sr										0,910**	-0,487*
Y											-0,187

* - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,0001$;

Conforme observado na Tabela 9, de acordo com a classificação de Santos (2007), os elementos CaO, Ga e Zr apresentam uma correlação negativa moderada (r > 0,7) com a profundidade de coleta das amostras indicando que as concentrações diminuem com o aumento da profundidade de coleta. Contudo, o Ga apresenta uma baixa correlação com os dois elementos, sendo que o CaO e Zr apresentam uma correlação positiva moderada (r > 0,7) entre sí.

Já os elementos K_2O, Sr e Y possuem uma correlação positiva forte (r > 0,8) com a profundidade indicando que as concentrações obtidas nas amostras de solo aumentam juntamente com a profundidade de coleta das amostras de solo, sendo que os elementos Sr e Y apresentaram uma correlação positiva forte (r > 0,8) com o K_2O. Já os elementos CaO e Zr apresentaram uma correlação negativa forte com o K_2O, indicando que o comportamento entre estes elementos é inverso (Tabela 9).

Dentre os demais elementos, Ni e Ga mostram uma correlação positiva moderada entre sí, enquanto que Sr e Y apresentam uma correlação negativa moderada com o Zr. O elemento Y apresentou uma correção positiva forte com o Sr (Tabela 9).

A Tabela 10 apresenta os resultados de correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nas amostras de solo das sondagens ST-06 (*background*), e pode ser observado que Ga e Ni apresentaram uma correlação negativa moderada e forte (r > 0,7 e r > 0,8) com a profundidade de coleta das amostras indicando que as concentrações diminuem com o aumento da profundidade de coleta. O Ga e Ni apresentam uma correlação positiva forte (r > 0,9) entre sí. Os elementos CaO e Zr apresentaram uma baixa correlação com a profundidade de coleta na sondagem ST-06, diferente do ocorrido com os mesmos elementos nas amostras de solo coletadas na ST-01. O CaO apresentou correlação positiva forte com o elemento Sn.

O K_2O apresentou correlação positiva forte (r > 0,8) com P_2O_5, Sr e Y. Todavia, notou-se uma correção negativa moderada (r > 0,7) entre K_2O e Ni que indica um comportamento inverso na distribuição das concentrações entre estes elementos (Tabela 10). Em comparação com os resultados obtidos na sondagem ST-01, observou-se que K_2O, Sr e Y apresentaram comportamento semelhante, porém, CaO, Zr e Ni apresentaram comportamento diferente quando comparamos os resultados obtidos na sondagem ST-01 com a sondagem ST-06 (Tabela 9 e Tabela 10).

Diferentemente dos resultados obtidos na sondagem ST-01, os resultados de ST-06 (Tabela 10) o P_2O_5 possui correlação positiva forte com os elementos Sr e Y. A correlação do Ga com Ni e Zr foi positiva forte (r > 0,8) e com o Sr foi negativa moderada.

Em ambas as sondagens o Na_2O não apresentou correlação com os elementos analisados e com a profundidade de coleta das amostras (Tabela 9 e 10).

6.2.2 Ensaios de Lixiviação

As Tabelas 11 e 12 contemplam os resultados dos parâmetros químicos (pH, Eh e condutividade elétrica) medidos após os ensaios de lixiviação realizados com água deionizada, juntamente com os resultados das análises cromatográficas das amostras provenientes das sondagens ST-01 e ST-06.

As análises do potencial hidrogeniônico (pH) das amostras da sondagem ST-01 variaram entre 4,85 e 7,49, e indicam um aumento do pH com a profundidade das amostras, apresentando-se ácido nas amostras superficiais e tendendo a alcalino nas amostras de maior profundidade, conforme ilustra a Tabela 11 e Figura 20. O valor de pH das amostras lixiviadas de ST-06 variaram entre 4,88 e 9,08, sendo os maiores valores obtidos nas amostras superficiais de 1,00 a 4,00 metros, Tabela 12 e Figura 21.

Os resultados de Eh (potencial de oxi-redução) obtidos nas amostras da sondagem ST-01 variaram entre 3 e 106 mV indicam um ambiente oxidante nas amostras superficiais até o intervalo de coleta de 6-7 metros, e um ambiente redutor nas amostras que representam os intervalos de coleta em maior profundidade com variação entre -6 e -48 mV (Tabela 11 e Figura 20). Com relação aos resultados obtidos nas amostras de solo da sondagem ST-06, nota-se que inicialmente os valores de Eh são mais elevados e tendem a diminuir e variam entre 2 e 141 mV, sendo que nas amostras de 9, 15, 16, 25 e 29 metros os valores obtidos foram negativos indicando um ambiente redutor que variaram entre -4,8 e -50 mV. Contudo estes valores indicam a tendência de um ambiente oxidante em praticamente todo o perfil, conforme observado na Tabela 12 e Figura 21.

Tabela 11 - Parâmetros químicos e resultados das análises cromatográficas das amostras de lixiviado com água deionizada provenientes da sondagem ST-01

Amostras	Profundidade de coleta (m)	pH	Eh (mV)	Condutividade elétrica (µS/cm)	F (mg/L)	Cl (mg/L)	NO_2-N (mg/L)	SO_4 (mg/L)	Br (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	PO_4-P (mg/L)	Li (mg/L)	Na (mg/L)	NH_4 (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
AM-01	1	5,55	68	13,21	<0,01	0,67	<0,002	2,3	<0,01	0,06	<0,02	<0,01	0,26	1,35	0,82	0,11	0,66
AM-02	1,7	5,42	74	11,20	<0,01	0,68	<0,002	2,1	<0,01	0,04	<0,02	<0,01	0,31	1,38	0,49	0,07	0,46
AM-03	2	4,85	106	25,51	<0,01	0,67	<0,002	9,9	<0,01	0,04	<0,02	0,01	0,38	1,76	0,63	0,25	1,63
AM-04	3	5,04	94	29,1	<0,01	0,63	<0,002	11,4	<0,01	0,04	<0,02	0,01	0,27	1,58	<0,05	0,34	2,41
AM-05	4	5,18	87	22,53	<0,01	0,66	<0,002	8	<0,01	0,04	<0,02	0,01	0,37	1,58	<0,05	0,22	1,56
AM-06	5	6,02	37	22,0	<0,01	0,7	<0,002	7,6	0,05	0,05	<0,02	<0,01	0,42	1,57	<0,05	0,23	1,65
AM-07	6	6,17	30	22,25	<0,01	0,8	<0,002	7,7	0,1	0,06	<0,02	0,01	0,62	1,76	<0,05	0,43	1,01
AM-08	7	6,77	3	20,43	<0,01	0,88	<0,002	5,3	0,07	0,09	<0,02	<0,01	0,84	2,09	2,68	0,08	0,2
AM-09	8	7,04	-15	36,72	0,01	0,92	<0,002	9,6	0,05	0,08	0,045	<0,01	0,65	4,84	3,52	0,04	0,15
AM-10	9	7,32	-31	28,53	0,02	0,63	<0,002	4,5	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,02	3,7	3,37	<0,03	0,13
AM-11	9,5	6,72	4	24,64	<0,01	0,7	<0,002	4,3	<0,01	0,01	<0,02	0,01	0,05	3,09	<0,05	<0,03	0,17
AM-12	10	7,31	-29	25,3	0,02	0,7	<0,002	3,2	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,03	3,19	3,32	<0,03	0,11
AM-13	10,7	6,68	-8	32,47	<0,01	0,71	<0,002	7,9	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,03	3,88	3,61	<0,03	0,14
AM-14	11	7,52	-40	27,33	0,02	0,92	0,028	1,3	<0,01	0,02	<0,02	<0,01	0,06	2,74	2,09	<0,03	0,14
AM-15	12	7,26	-23	22,45	0,03	0,52	<0,002	2	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,04	3,02	3,09	<0,03	0,13
AM-16	13	7,25	-25	23,85	0,03	0,65	<0,002	1,3	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,04	3,14	3,36	<0,03	0,13
AM-17	14	7,33	-31	23,59	0,03	0,53	<0,002	1,4	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,03	3,16	3,21	<0,03	0,14
AM-18	15	7,21	-26	22,61	0,02	0,55	<0,002	1,8	<0,01	0,01	<0,02	0,01	0,09	2,83	3,33	<0,03	0,14
AM-19	16	7,49	-38	21,63	0,02	0,88	<0,002	1,4	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,04	2,54	3,39	<0,03	0,16
AM-20	17	7,21	-17	18,96	0,03	0,54	<0,002	1,2	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,04	2,3	3	<0,03	0,11
AM-21	18	7	-12	18,55	0,03	0,8	<0,002	1,2	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,08	2,07	3,16	<0,03	0,11
AM-22	19	6,83	-6	17,45	0,03	0,74	<0,002	1,5	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,04	2,01	2,95	<0,03	0,11
AM-23	20	6,62	-48	20,76	0,03	0,99	<0,002	1,3	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,02	1,85	2,98	<0,03	0,15
AM-24	21	6,81	-45	19,33	0,03	0,74	<0,002	1,9	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,03	1,92	3	<0,03	0,12
AM-25	22	7,4	-34	18,39	0,08	0,59	<0,002	1	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,05	2,12	3,22	<0,03	0,22
AM-26	23	7,17	-23	12,86	0,05	0,44	<0,002	0,04	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,03	1,44	2,3	<0,03	0,19
AM-27	24	7,25	-38	11,50	0,06	0,43	0,018	<0,02	<0,01	0,01	<0,02	<0,01	0,03	1,1	2,42	<0,03	0,29

Tabela 12 - Parâmetros químicos e resultados das análises cromatográficas das amostras de lixiviado com água deionizada provenientes da sondagem ST-06

Amostras	Profundidade de coleta (m)	pH	Eh (mV)	Condutividade elétrica (µS/cm)	F (mg/L)	Cl(mg/L)	NO_2-N (mg/L)	SO_4 (mg/L)	Br (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	PO_4-P (mg/L)	Li (mg/L)	Na (mg/L)	NH_4 (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
AM-01	1	8,91	124	0,072	<0,001	0,28	<0,005	1,49	<0,005	0,08	<0,015	0,02	0,1	0,04	1,43	0,13	0,42
AM-02	2	7,83	123	0,061	<0,001	0,7	<0,005	<0,010	<0,005	0,01	<0,015	0,01	0,03	<0,030	0,46	0,05	0,12
AM-03	3	9,08	141	0,055	<0,001	1,24	<0,005	0,03	<0,005	0,03	<0,015	0,02	0,08	0,02	1,64	<0,03	0,23
AM-04	4	8,7	115	0,064	<0,001	1,34	<0,005	<0,01	<0,005	0,02	<0,015	0,03	0,04	0,02	0,87	<0,03	0,26
AM-05	5	4,88	95	0,189	<0,001	1,47	<0,005	<0,01	<0,0058	0,01	<0,015	<0,004	0,03	0,02	0,96	<0,03	0,17
AM-06	6	5,18	78	0,079	<0,001	0,92	<0,005	<0,01	<0,005	0,01	<0,015	<0,004	0,02	<0,030	0,69	<0,03	0,16
AM-07	7	6,83	4	0,022	<0,001	0,3	<0,005	0,04	<0,005	0,1	<0,015	0,01	0,27	0,07	0,63	<0,03	0,29
AM-08	8	5,55	56	0,015	<0,001	0,02	<0,005	<0,01	<0,005	0,02	<0,015	0,01	0,04	<0,030	0,09	0,03	0,12
AM-09	9	5,68	-50	0,027	<0,001	0,04	<0,005	<0,01	<0,005	0,01	<0,015	0,01	0,03	0,13	0,14	<0,03	0,06
AM-10	10	5,83	59	0,023	<0,001	0,05	0,005	<0,01	<0,005	0,03	<0,015	0,01	0,06	0,04	0,13	<0,03	0,13
AM-11	11	6,79	17	0,012	<0,001	0,05	<0,005	<0,01	<0,005	0,02	<0,015	<0,004	0,06	<0,03	0,21	<0,03	0,13
AM-12	12	5,77	41	0,019	<0,001	0,04	<0,005	0,01	<0,005	0,01	<0,015	<0,004	0,06	<0,03	0,07	<0,03	0,11
AM-13	13	5,68	50	0,019	<0,001	0,04	<0,005	<0,01	<0,005	0,01	<0,015	<0,004	0,04	<0,03	0,12	<0,03	0,14
AM-14	14	7,58	59	0,011	<0,001	0,03	<0,005	0,04	<0,005	0,05	<0,015	<0,004	0,07	<0,03	0,08	<0,03	0,24
AM-15	15	5,89	-42	0,012	<0,001	0,02	<0,005	<0,01	<0,005	<0,003	<0,015	<0,004	0,03	0,04	0,07	<0,03	0,13
AM-16	16	6,99	-17	0,055	<0,001	0,03	<0,005	0,01	<0,005	<0,0003	<0,015	<0,004	0,05	0,02	0,11	0,04	0,16
AM-17	17	6,87	35	0,042	<0,001	0,05	<0,005	0,02	<0,005	0,02	<0,015	<0,004	0,06	<0,03	0,14	0,07	0,29
AM-18	18	5,68	49	0,012	<0,001	0,04	<0,005	<0,01	<0,005	<0,003	<0,015	0,01	0,09	0,07	0,13	<0,03	0,1
AM-19	19	7,59	60	0,011	<0,001	0,04	<0,005	<0,01	<0,005	0,02	<0,015	<0,004	0,03	0,13	0,12	<0,03	0,09
AM-20	20	7,86	76	0,009	<0,001	0,07	<0,005	0,02	<0,005	0,04	<0,015	0,01	0,02	0,09	<0,05	<0,03	0,16
AM-21	21	5,63	51	0,019	<0,001	0,04	<0,005	<0,01	<0,005	<0,003	<0,015	0,01	0,02	<0,03	0,12	<0,03	0,09
AM-22	22	6,44	24	0,018	<0,001	0,06	<0,005	<0,01	<0,005	<0,003	<0,015	<0,004	0,05	0,02	0,11	<0,03	0,23
AM-23	23	7,11	36	0,007	<0,001	0,24	<0,005	0,02	<0,005	0,05	0,03	0,02	0,06	0,02	0,14	<0,03	0,23
AM-24	24	6,83	18	0,011	<0,001	0,05	<0,005	0,01	<0,005	0,02	0,02	0,01	0,07	<0,03	0,10	<0,03	0,09
AM-25	25	6,83	-9	0,021	<0,001	<0,015	<0,005	<0,01	<0,005	<0,003	<0,015	0,01	0,03	<0,03	0,09	<0,03	0,19
AM-26	26	6,52	2	0,046	<0,001	0,04	<0,005	<0,01	<0,005	<0,0036	<0,015	<0,004	0,04	<0,03	0,08	<0,03	0,08
AM-27	27	6,74	13	0,011	<0,001	0,18	<0,005	0,02	<0,005	0,02	0,01	0,03	0,03	0,11	0,05	0,03	0,18
AM-28	28	5,54	57	0,015	<0,001	0,03	0,005	<0,01	<0,005	<0,003	<0,015	0,01	0,06	0,03	0,06	<0,03	0,1
AM-29	29	7,39	-4,8	0,025	<0,001	0,01	<0,005	<0,01	<0,005	<0,003	<0,015	<0,004	0,02	<0,03	0,11	<0,03	0,05
AM-30	30	5,83	39	0,015	<0,001	0,02	<0,005	<0,01	<0,005	<0,003	<0,015	<0,004	0,03	0,07	<0,05	<0,03	0,11
AM-31	31	6,74	17	0,012	<0,001	0,02	<0,005	<0,01	<0,005	<0,003	<0,015	0,01	0,07	<0,03	<0,05	<0,03	0,1
AM-32	32	7,80	68	0,012	<0,001	0,02	<0,005	0,02	<0,005	0,03	<0,015	0,01	0,04	<0,03	<0,05	<0,03	0,22

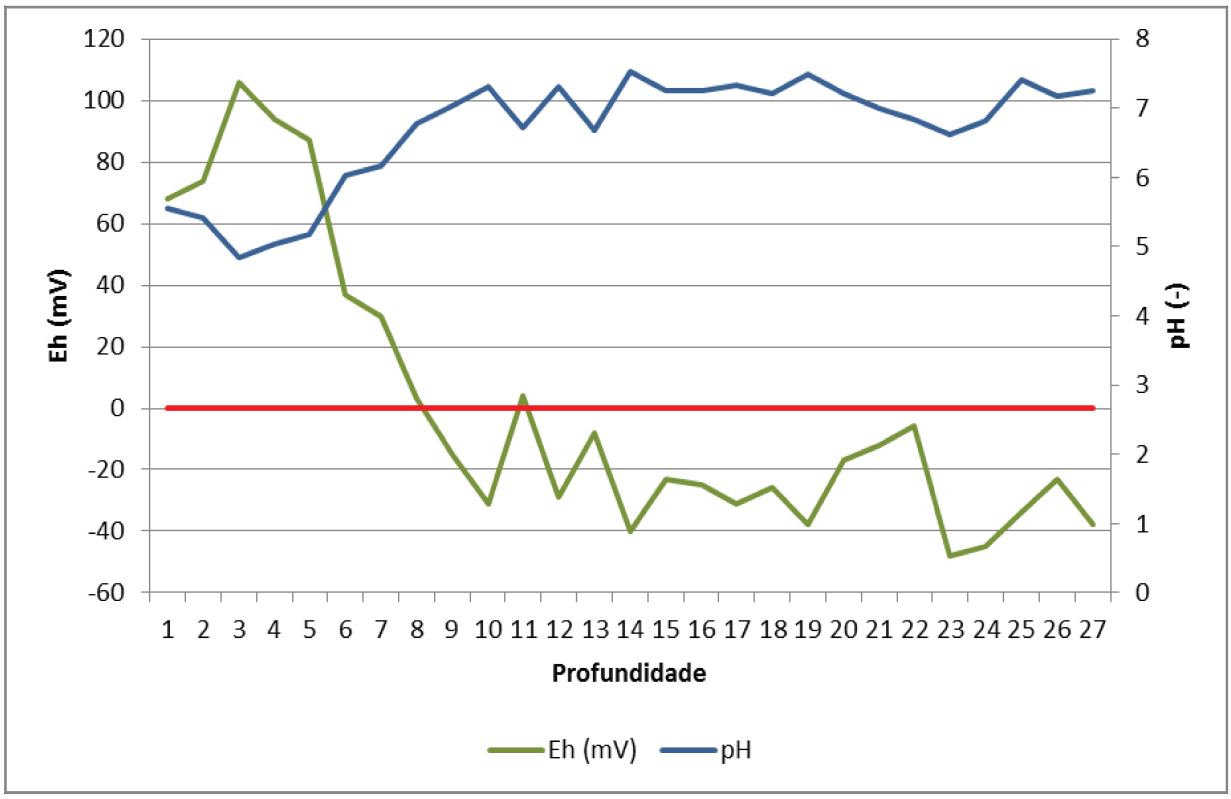

Figura 20 – Variação de pH e Eh (mV) nos lixiviados das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01

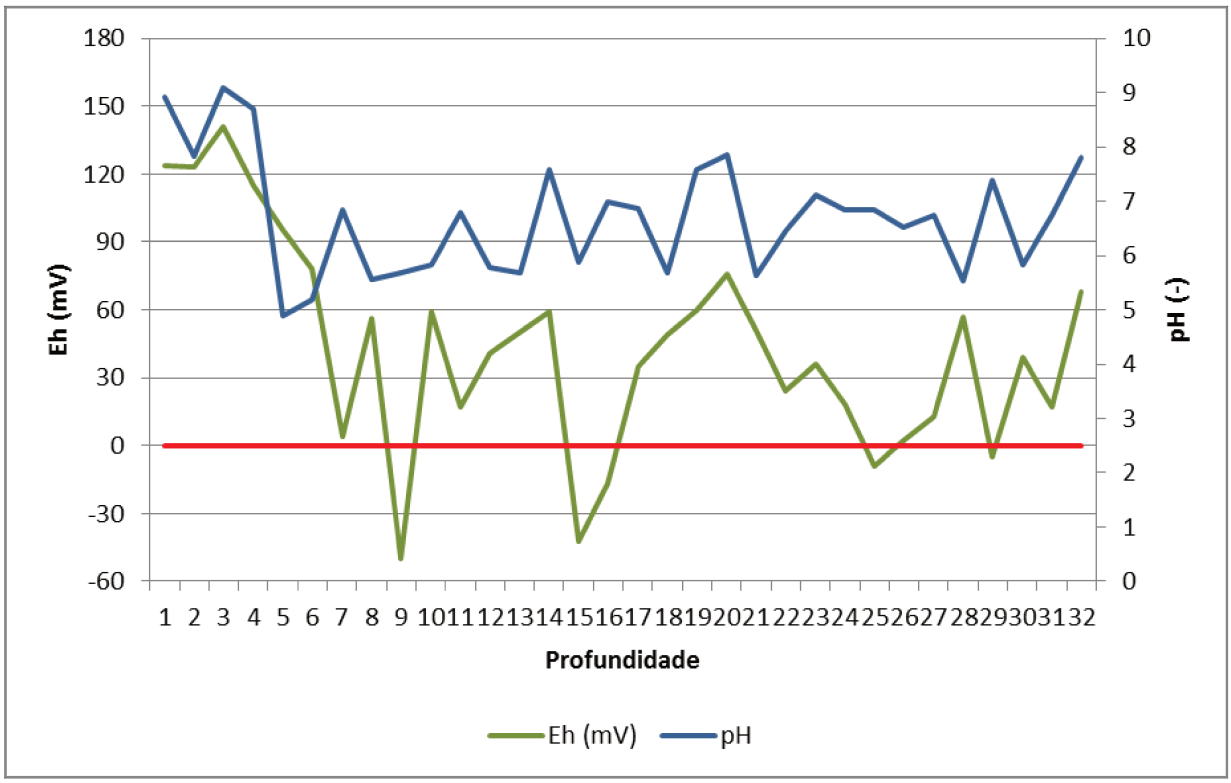

Figura 21 - Variação de pH e Eh (mV) nos lixiviados das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06

Os valores de condutividade elétrica obtidos nas amostras da sondagem ST-01 foram mais elevados entre as profundidades de 2,00 a 22,00 metros com picos nas profundidades de 8 e 10,70 metros. Os resultados variaram entre 11,20 e 36,72 µS/cm, e média de 21,96 µS/cm, Tabela 11. A Tabela 12 apresenta a condutividade elétrica dos lixiviados das amostras da sondagem ST-06, que variaram entre 0,007 e 0,189 µS/cm, com média de 0,032 µS/cm. Ressalta-se que a condutividade nos lixiviados das amostras pertencentes à sondagem ST-01 foram superiores às amostras do perfil ST-06.

Com relação às concentrações de Cl, nota-se que nas amostras provenientes da sondagem ST-01, as concentrações variaram entre 0,43 e 0,99 mg/L com média de 0,691 mg/L, no geral são mais elevadas do que nas amostras da sondagem ST-06 que variaram entre 0,01 e 1,47 mg/L com média de 0,24 mg/L. As concentrações de SO_4, nos lixiviados provenientes da sondagem ST-01 variaram entre 0,04 e 11,40 mg/L e apresentaram concentrações cerca de 100 vezes mais elevadas em comparação com as amostras lixiviadas da sondagem ST-06 que variaram entre 0,01 e 1,49 mg/L, de acordo com as Tabelas 11 e 12.

Conforme a Tabela 11, o ânion NO_3-N apresenta comportamento semelhante em ambos os conjuntos de amostras. Nas amostras pertencentes à sondagem ST-01 as maiores concentrações

localizam-se nas amostras superficiais (entre 1,00 e 8,00 metros), reduzindo nas demais amostras, com variação de concentrações de 0,01 e 0,09 mg/L. Na Tabela 12, as amostras do lixiviado da sondagem ST-06 apresentam concentrações que variaram entre 0,01 e 0,1 mg/L, sendo que as amostras superficiais apresentaram as maiores concentrações. Salienta-se que na sondagem ST-01 o ânion NO_3-N foi detectado em todas as amostras, diferente da sondagem ST-06 onde as amostras nas profundidades de 15, 16, 18, 21, 22, 25, 26, 28, 29, 30 e 31 apresentaram concentrações inferiores aos limites de detecção.

A análise dos cátions Na e Ca nas amostras da sondagem ST-01 mostra uma concentração superficial e posteriormente uma redução das concentrações que permanecesse no restante do perfil, sendo que as mesmas variaram entre 0,02 e 0,84 mg/L e 0,11 e 2,14 mg/L, respectivamente (Tabela 11, Figura 22).

As concentrações de Na nas amostras provenientes da sondagem ST-06, variaram entre 0,02 a 0,27 mg/L, e assim como na sondagem ST-01 foi identificado um pico de concentração na profundidade de 7,00 metros. Já as concentrações de Ca nas amostras provenientes da sondagem ST-06 variaram entre 0,05 a 0,42 mg/L (Tabela 12).

As concentrações de NH_4 nas amostras da sondagem ST-01 que variaram entre 1,1 a 4,84 mg/L foram superiores às obtidas nas amostras lixiviadas da sondagem ST-06 que variaram entre 0,02 e 0,13 mg/L, e notou-se uma redução nas concentrações das amostras superficiais e nas amostras mais profundas, diferente do ocorrido com as concentrações das amostras provenientes da sondagem ST-06 que não apresentam oscilação e não foram detectadas ao longo de todo o perfil (Tabela 11 e 12).

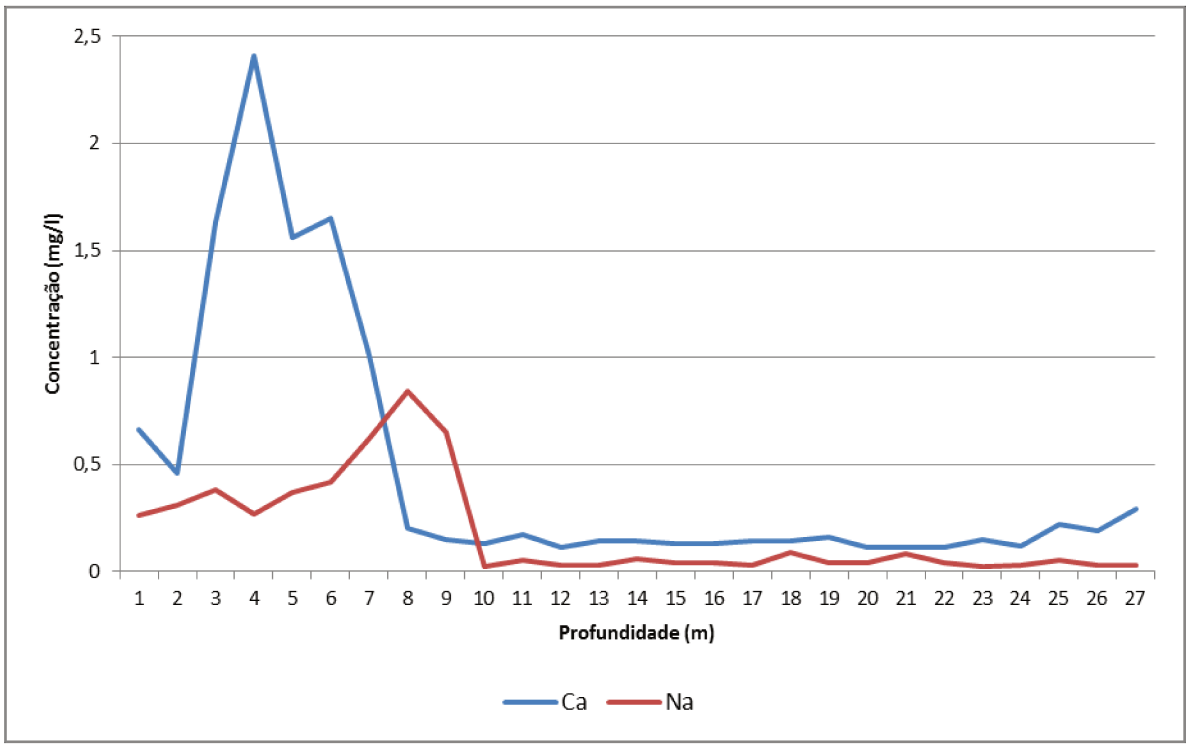

Figura 22 - Variação das concentrações de Ca e Na nos lixiviados das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01

A análise das concentrações de K nas amostras das sondagens ST-01 e ST-06 indicou que a distribuição das concentrações nos perfis ocorre de maneira inversa. Na sondagem ST-01 há um aumento das concentrações à partir de 7,00 metros, que permanece acima de 2,00 mg/L até 24,00 metros (Tabela 11), enquanto que na sondagem ST-06 as maiores concentrações estão nas amostras superficiais de 1,00 a 7,00 metros, e posteriormente diminuem e permanecem com concentrações inferiores a 0,25 mg/L (Tabela 12).

Com relação às concentrações de Mg, na sondagem ST-01, houve uma variação entre 0,04 a 0,43 mg/L que permaneceu nas amostras coletadas entre 1,00 e 8,00 metros, sendo que nas demais amostras não foram obtidas concentrações superiores aos limites de detecção analíticos laboratoriais, Tabela 11. Na sondagem ST-06, as concentrações de Mg foram detectadas somente nas amostras coletadas nas profundidades de 1, 2, 8, 16, 17 e 27 metros, com concentrações que variaram entre 0,03 e 0,13 mg/L.

A Tabela 13 apresenta os resultados da análise das médias dos parâmetros químicos e resultados das análises cromatográficas das amostras de lixiviado com água deionizada obtidos através do método de Tukey, e indica que dentre os parâmetros químicos analisados, apenas as diferenças entre as médias do potencial de oxiredução foram significativas ($p<0,05$). Para os

elementos químicos analisados, somente a diferença entre as médias das concentrações de F, Cl, SO_4, Br, Li, Na, NH4, K, Mg e Ca foram significativas ($p<0,05$), sendo que para os demais elementos analisados, as diferenças entre as médias não foram significativas ($p<0,05$).

As Tabelas 14 e 15 apresentam os resultados das correlações de Pearson entre os elementos detectados nos lixiviados com água deionizada das amostras de solo pertencentes às sondagens ST-01 e ST-06, cujas diferenças entre as médias das áreas foram significativas pelo método de Tukey.

Conforme observado na Tabela 14 que apresenta os resultados das análises em lixiviado com água deionizada das amostras de solo coletadas na sondagem ST-01, foram obtidas correlações positivas moderada e forte entre a profundidade e o potencial de oxirredução e o F, respectivamente. Já com relação ao potencial de oxirredução, os elementos Mg e Ca apresentaram correlação positiva moderada e forte respectivamente, e com o elemento K foi estabelecida correlação negativa forte.

A condutividade elétrica somente apresentou correlação positiva moderada com o NH_4. Os elementos Mg e Ca apresentaram correlação positiva moderada com o SO_4, e correlação negativa forte com o K. Entre os mesmos foi detectada uma correlação positiva forte que indica comportamento semelhante entre estes elementos (Tabela 14)

A Tabela 14 apresenta os resultados das análises em lixiviado com ácido nítrico das amostras de solo coletadas na sondagem ST-06. Observa-se que somente foi detectada correlação positiva moderada entre Cl e condutividade elétrica, Cl e K, e entre Mg e SO_4.

Os resultados obtidos na sondagem ST-06 não indicaram uma correlação positiva moderada entre o Mg e o Ca, diferente do resultado obtido nas amostras provenientes da sondagem ST-01 localizada no interior do tanque de vinhaça.

As Tabelas 16 a 19 apresentam os resultados das análises químicas em ICP-MS de lixiviados por ácido nítrico das amostras de solo provenientes das sondagens ST-01 e ST-06.

Tabela 13 - Comparação das médias das concentrações dos elementos químicos de interesse nos lixiviados com água deionizada nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01 e ST-06

Variável	Área	N	Média	p
pH	ST-01	27	6,6822[a]	0,9276
	ST-06	32	6,7053[a]	
Eh	ST-01	27	21,969[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,032[b]	
F	ST-01	27	0,200[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0[b]	
Cl	ST-01	27	0,69248[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,23375[b]	
NO_2-N	ST-01	27	0,001704[a]	0,2256
	ST-06	32	0,000313[a]	
SO_4	ST-01	27	3,7459[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,0541[b]	
Br	ST-01	27	0,1000[a]	0,0317*
	ST-06	32	0[b]	
NO_3-N	ST-01	27	0,025556[a]	0,3027
	ST-06	32	0,019063[a]	
PO_4	ST-01	27	0,001667[a]	0,9161
	ST-06	32	0,001875[a]	
Li	ST-01	27	0,002222[a]	0,0035*
	ST-06	32	0,007813[b]	
Na	ST-01	27	0,18037[a]	0,0034*
	ST-06	32	0,05406[b]	
NH_4	ST-01	27	2,3707[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,0294[b]	
K	ST-01	27	2,2200[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,2797[b]	
Mg	ST-01	27	0,06556[a]	0,0152*
	ST-06	32	0,01094[b]	
Ca	ST-01	27	0,4600[a]	0,0094*
	ST-06	32	0,1619[b]	

Médias com letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p<0,05$)

Tabela 14 - Resultados da correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nos lixiviados com água deionizada nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01

	Eh (mV)	Condutividade elétrica (µS/cm)	F(mg/L)	Cl (mg/L)	SO_4 (mg/L)	Br (mg/L)	Li (mg/L)	Na (mg/L)	NH_4 (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
Prof Coleta (m)	-0,792**	-0,328	0,865**	-0,197	-0,689**	-0,316	-0,416*	-0,614*	-0,027	0,640*	-0,637*	-0,606*
Eh (mV)		-0,026	-0,648*	-0,056	0,646*	0,135	0,572*	0,523*	-0,432*	-0,814**	0,764**	0,832**
Condutividade elétrica (µS/cm)			-0,384*	0,360*	0,613*	0,164	0,224	0,170	0,777**	0,147	0,123	0,129
F (mg/L)				-0,391*	-0,671*	-0,356	-0,441*	-0,565*	-0,083	0,557*	-0,546*	-0,477*
Cl (mg/L)					0,159	0,371	-0,087	0,370	0,197	0,029	0,081	-0,069
SO_4 (mg/L)						0,432*	0,547*	0,633*	0,086	-0,505*	0,734**	0,738**
Br (mg/L)							0,141	0,819**	0,004	-0,258	0,554*	0,194
Li (mg/L)								0,276	-0,163	-0,623*	0,642*	0,607*
Na (mg/L)									-0,096	-0,623*	0,642*	0,607*
NH_4 (mg/L)										0,552*	-0,407*	-0,455*
K (mg/L)											-0,775**	-0,777**
Mg (mg/L)												0,875**

* - P ≤ 0,05; ** - P ≤ 0,0001;

Tabela 15 - Resultados da correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nos lixiviados com água deionizada nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-06

	Eh (mV)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Cl(mg/L)	SO_4 (mg/L)	Li (mg/L)	Na (mg/L)	NH_4 (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)
Prof coleta (m)	-0,468*	-0,520*	-0,598*	-0,304	-0,121	-0,239	0,008	-0,697**	-0,330	-0,365*
Eh (mV)		0,421*	0,634**	0,325	0,341	-0,024	-0,166	0,647**	0,277	0,397*
Condutividade elétrica (µS/cm)			0,780**	0,201	-0,048	-0,085	-0,163	0,639**	0,236	0,233
Cl(mg/L)				0,022	0,322	0,0002	-0,108	0,787**	0,001	0,296
SO_4 (mg/L)					0,265	0,213	0,052	0,517*	0,785**	0,607*
Li (mg/L)						0,140	0,229	0,372*	0,209	0,368*
Na (mg/L)							0,090	0,284	0,101	0,448*
NH_4 (mg/L)								-0,053	-0,029	-0,077
K (mg/L)									0,365*	0,567*
Mg (mg/L)										0,570*

* - P ≤ 0,05; ** - P ≤ 0,0001;

Tabela 16 - Resultados das análises químicas de lixiviados por ácido nítrico das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01

Amostras	Profundidade de Coleta (m)	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	V (mg/l)	Li (µg/L)	Be (µg/L)	Sc (µg/L)	Ti (µg/L)	Cr (µg/L)	Co (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ga (µg/L)	Sr (µg/L)
AM-01	1	65,7	38	0,6	1,4	9,9	1,9	0,14	0,8	0,56	0,6	129	120	63	7,6	7,3	120	888	27	50
AM-02	1,7	52,8	566	1,5	3	16,4	1,7	0,08	1,9	0,31	0,57	115	424	143	6,9	8,4	143	139	54	47
AM-03	2	54,8	720	1,9	3,3	17,3	1,6	0,06	2,3	0,32	0,64	126	503	159	8	10,6	184	176	62	47
AM-04	3	44,2	457	1,1	2,3	17,4	1,8	< 60	1,8	0,33	0,61	114	414	105	6	9	267	128	63	41
AM-05	4	44,0	317	0,6	1,9	11,7	1,5	< 60	1,6	0,3	0,38	134	359	70	5,2	8,7	177	148	69	34
AM-06	5	29,9	195	0,6	2,4	16,1	1,6	0,08	1,2	0,26	0,34	123	172	51	5,4	6,5	140	90	45	28
AM-07	6	30,3	192	1	5,5	16,2	3,2	0,06	1,2	0,29	0,47	125	319	90	9	10,8	131	104	41	34
AM-08	7	30,2	584	1,4	4,4	9,6	10,5	< 60	2,3	0,24	0,36	141	904	106	6,9	11,2	166	115	75	25
AM-09	8	29,9	291	1,1	2	9,5	10,6	0,06	1,8	0,26	0,37	100	560	84	5,3	11,6	274	113	92	24
AM-10	9	26,5	564	1,6	2,4	8,5	16,8	0,06	2,2	0,24	0,4	145	677	75	5,8	10,6	177	122	68	23
AM-11	9,5	28,3	335	0,9	1,2	5,1	14,2	< 60	2,3	0,29	0,37	151	559	57	4,5	8,4	156	126	57	18
AM-12	10	39,4	376	1,5	1,2	5	17,1	< 60	3,1	0,35	0,65	262	704	72	6	9,9	225	167	55	20
AM-13	10,7	28,9	388	1,4	1,8	7,2	13,7	< 60	2,1	0,29	0,44	155	485	69	6,3	10,4	190	140	58	23
AM-14	11	28,3	254	0,9	0,5	2	15,7	< 60	2,4	0,18	0,43	196	428	50	5,3	8,2	149	91	36	10
AM-15	12	22,6	244	1,1	0,5	2,4	14,5	< 60	2,0	0,19	0,39	175	366	43	4,2	6,2	140	91	31	9
AM-16	13	19,0	255	1,2	0,4	2,5	15,0	< 60	1,8	0,13	0,44	165	349	41	4,2	6,3	137	85	19	10
AM-17	14	14,8	253	0,9	0,6	3	12,6	< 60	1,6	0,07	0,4	144	333	31	3,1	4,3	102	85	14	11
AM-18	15	13,3	235	0,8	0,7	3,6	11,6	< 60	1,3	0,09	0,36	122	241	24	2,7	4,1	113	68	9	10
AM-19	16	11,9	122	0,4	0,5	2	11	< 60	1,2	0,09	0,32	107	179	21	1,6	3,1	113	59	7	9
AM-20	17	13,1	147	0,5	0,5	2,1	10,5	< 60	1,2	0,09	0,45	113	219	26	1,7	3,1	124	65	8	11
AM-21	18	10,5	87	0,4	0,4	1,1	10,6	< 60	1,0	0,07	0,4	94	135	14	1,3	2,1	87	55	5	9
AM-22	19	10,9	37	0,1	0,4	0,9	10,9	< 60	0,8	0,08	0,32	121	123	10	1	1,7	86	56	4	9
AM-23	20	9,8	22	0,1	0,3	0,6	9,8	< 60	0,8	0,08	0,38	158	107	14	0,8	1,6	124	48	3	7
AM-24	21	9,8	46	0,1	0,4	1,2	10,8	< 60	0,8	0,1	0,38	177	137	13	1	1,9	109	60	4	10
AM-25	22	12,0	155	0,5	0,7	7	11,5	< 60	0,9	0,09	0,36	141	199	20	1,7	2,6	125	61	6	16
AM-26	23	8,2	83	0,5	0,3	2,8	10,9	< 60	0,5	0,06	0,3	95	115	11	2,2	1,4	104	48	2	6
AM-27	24	8,2	87	0,6	0,8	5,3	11,1	< 60	0,5	0,06	0,42	98	125	21	3,1	1,8	102	47	4	10

Tabela 17 - Resultados das análises químicas de lixiviados por ácido nítrico das amostras de solo provenientes da sondagem ST-01

Amostras	Profundidade de Coleta (m)	Concentrações dos elementos de interesse (µg/L)																	
		Ge	As	Se	Rb	Y	Mo	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Th	U	La	Ce
AM-01	1	0,6	2,3	2,8	11	260	< 0,01	0,09	0,16	< 0,01	< 0,01	0,27	38	0,22	90	0,03	24,1	18,6	83	1.125
AM-02	1,7	0,5	3,8	1	148	7	0,13	0,05	0,43	< 0,01	0,06	0,55	61	0,18	121	0,07	47,7	19,5	18	541
AM-03	2	0,5	5,5	1	18	7	0,2	0,06	0,39	0,03	0,06	0,57	65	0,20	141	0,09	49,5	21,5	19	570
AM-04	3	0,6	5,8	1	25	6	0,07	0,06	0,5	0,03	< 0,01	0,50	69	0,38	131	0,07	34,5	20,5	15	830
AM-05	4	0,4	2,8	1,1	21	5	< 0,01	0,05	0,34	< 0,01	0,04	0,49	52	0,17	118	0,07	56,9	18,8	16	1.174
AM-06	5	0,3	3	1,1	29	5	< 0,01	0,03	0,21	0,03	< 0,01	0,40	56	0,21	94	0,03	38,6	23,9	19	1.010
AM-07	6	0,6	5,4	2,2	42	13	0,09	0,05	0,23	0,03	0,03	1,14	83	0,32	90	0,03	42,3	28,2	72	1.219
AM-08	7	0,6	5,5	1,3	51	5	0,08	0,05	0,35	0,03	0,08	0,94	71	0,19	124	0,07	63,1	17,1	16	1.165
AM-09	8	0,5	7,1	1,1	52	5	0,06	0,04	0,44	0,03	< 0,01	0,94	116	0,24	111	0,06	30,6	15,2	12	1.078
AM-10	9	0,5	4,1	1,2	60	5	< 0,01	0,04	0,5	< 0,01	< 0,01	1,02	132	0,23	129	0,06	55,3	18,4	15	1.232
AM-11	9,5	0,6	3	1,4	53	6	< 0,01	0,04	0,41	< 0,01	< 0,01	1,05	149	0,61	111	0,06	49,8	33,8	30	1.126
AM-12	10	1	5,3	2,5	61	14	< 0,01	0,08	0,26	0,04	0,03	1,04	518	0,95	143	0,05	59,3	62,6	70	1.247
AM-13	10,7	0,7	5	1,6	52	10	0,07	0,04	0,29	0,03	0,04	0,94	291	0,97	127	0,04	42,8	28,6	38	1.103
AM-14	11	0,8	3,0	1,8	50	17	< 0,01	0,05	0,19	< 0,01	< 0,01	0,79	274	1,43	97	0,04	46,2	32,2	56	793
AM-15	12	0,8	3,5	1,9	41	19	< 0,01	0,03	0,19	< 0,01	< 0,01	0,74	114	0,73	101	0,05	46,8	32,7	50	787
AM-16	13	1,3	5,7	3,2	40	21	< 0,01	0,03	0,2	< 0,01	0,03	0,84	88	0,28	85	0,06	49,8	37,1	131	837
AM-17	14	0,8	3	1,7	37	8	< 0,01	< 0,01	0,17	< 0,01	< 0,01	0,73	64	0,19	75	0,06	43,2	46,5	71,	513
AM-18	15	0,6	3,2	1,4	35	6	< 0,01	< 0,01	0,16	< 0,01	< 0,01	0,76	74	0,17	64	0,05	37,2	39,3	47	446
AM-19	16	0,5	2,7	1,1	32	6	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,77	62	0,11	54	0,04	33,6	27	45	349
AM-20	17	0,4	2,4	0,9	34	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,64	54	0,19	59	0,05	36,2	17,1	35	280
AM-21	18	0,5	2,6	0,9	34	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,65	37	0,11	43	0,03	29,5	21,1	35	268
AM-22	19	0,6	3,8	1,4	35	6	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	0,28	30	0,10	41	0,04	33,6	18,0	47	295
AM-23	20	0,7	3,9	1,7	35	8	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,61	26	0,17	37	0,03	32	30,9	55	293
AM-24	21	0,9	4,5	2,4	34	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,36	28	0,24	27	0,03	35,6	54,8	65	299
AM-25	22	1	5,4	2,8	33	29	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	< 0,01	0,42	32	0,14	21	0,03	37,3	33,4	71	299
AM-26	23	0,9	4,4	3	28	34	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,31	49	1,32	14	0,02	38,4	18,9	74	662
AM-27	24	1,9	8,3	6,2	18	78	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,15	68	0,25	7	0,02	42,3	16,8	294	479

Tabela 18 - Resultados das análises químicas de lixiviados por ácido nítrico das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06

Amostras	Profundidade de Coleta (m)	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	V (mg/l)	Li (µg/L)	Be (µg/L)	Sc (µg/L)	Ti (µg/L)	Cr (µg/L)	Co (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ga (µg/L)	Sr (µg/L)
AM-01	1	2,18	0,24	0,03	0,54	3,77	1,87	0,02	0,03	0,11	0,04	16,58	17,06	<0,02	0,17	0,12	17,03	1,29	0,61	14,9
AM-02	2	2,18	0,11	0,02	0,06	0,36	0,14	0,04	0,10	0,19	0,03	24,86	5,63	<0,02	0,1	0,15	5,2	2,71	6,52	1,23
AM-03	3	1,95	0,17	0,03	0,13	1,12	3,95	0,02	0,06	0,16	0,03	37,35	5,62	<0,02	0,04	0,28	11,33	2,39	0,71	3,01
AM-04	4	1,82	0,13	0,02	0,20	1,23	1,65	0,06	0,04	0,13	0,03	31,32	3,82	<0,02	0,05	0,14	9,93	1,44	0,60	3,65
AM-05	5	1,74	0,14	0,04	0,23	1,35	1,42	0,06	0,05	0,17	0,03	34,64	4,9	<0,02	0,07	0,2	8,55	2,3	0,86	3,7
AM-06	6	1,69	0,11	0,03	0,22	1,68	1,50	0,05	0,04	0,13	0,03	31,37	2,5	<0,02	0,06	0,08	9,43	1,93	0,66	4,05
AM-07	7	2,13	0,14	0,06	0,20	0,98	0,53	0,02	0,08	0,17	0,02	32,24	5,19	<0,02	0,07	0,11	7,24	1,36	1,58	3,57
AM-08	8	2,18	0,18	0,03	0,14	0,64	0,28	0,02	0,08	0,18	0,03	29,62	9,59	<0,02	0,08	0,16	6,64	1,43	2,93	2,46
AM-09	9	1,91	0,09	0,03	0,18	0,75	0,36	0,04	0,08	0,16	0,01	28,32	2,57	<0,02	0,08	0,18	6,64	1,61	2,57	2,98
AM-10	10	2,10	0,09	0,04	0,17	0,82	0,38	0,06	0,08	0,19	0,03	29,82	2,69	<0,02	0,09	0,22	6,94	2,04	3,02	3,11
AM-11	11	2,01	0,08	0,02	0,08	0,43	0,15	0,04	0,09	0,16	0,01	24,57	2,82	<0,02	0,09	0,15	5,16	1,07	5,84	1,38
AM-12	12	2,03	0,09	0,02	0,08	0,37	0,15	0,04	0,09	0,18	0,02	23,42	2,52	<0,02	0,09	0,17	5,25	1,22	5,84	1,59
AM-13	13	1,97	0,11	0,03	0,15	0,63	0,31	0,04	0,07	0,14	0,03	23,93	4,02	<0,02	0,09	0,16	5,23	1,27	5,52	2,45
AM-14	14	2,27	0,12	0,03	0,07	0,33	0,15	0,03	0,09	0,16	0,02	25,59	5,5	<0,02	0,11	0,11	4,82	1,29	8,03	1,57
AM-15	15	2,05	0,08	0,02	0,13	0,58	0,27	0,04	0,08	0,15	0,02	22,75	2,75	<0,02	0,13	0,16	4,62	1,90	6,33	2,57
AM-16	16	2,48	0,09	0,02	0,16	0,73	0,30	0,04	0,10	0,18	0,03	26,15	2,26	<0,02	0,16	0,19	6,4	2,64	6,47	3,31
AM-17	17	1,81	0,08	0,02	0,23	1,06	0,41	0,04	0,10	0,23	0,02	23,39	3,33	<0,02	0,12	0,21	5,05	2,46	4,73	4,05
AM-18	18	1,81	0,08	0,03	0,29	1,57	0,56	0,04	0,09	0,12	0,03	18,17	2,39	<0,02	0,11	0,26	6,79	2,47	3,91	6,04
AM-19	19	1,67	0,08	0,03	0,11	0,59	0,23	0,02	0,09	0,10	0,03	22,31	3,84	<0,02	0,1	0,16	3,85	1,79	3,05	2,51
AM-20	20	1,89	0,09	0,02	0,08	0,56	0,15	0,02	0,08	0,12	0,04	23,50	9,13	<0,02	0,13	0,20	3,99	4,7	2,99	2,6
AM-21	21	1,47	0,04	0,01	0,03	0,29	0,06	0,02	0,07	0,10	0,02	19,75	2,46	<0,02	0,1	0,11	2,55	1,21	1,95	1,37
AM-22	22	1,66	0,05	0,03	0,14	1,11	0,33	0,02	0,07	0,12	0,06	17,06	1,7	<0,02	0,12	0,13	5,26	1,32	2,26	4,58
AM-23	23	1,52	0,03	0,01	0,02	0,18	0,07	1,01	0,08	0,11	0,04	20,79	2,21	<0,02	0,11	0,19	2,89	0,98	1,66	1,37
AM-24	24	1,54	0,07	0,03	0,14	1,19	0,32	0,02	0,07	0,09	0,04	13,17	2,07	<0,02	0,11	0,24	6,45	2,05	1,31	5,57
AM-25	25	1,59	0,07	0,03	0,12	0,85	0,28	0,04	0,08	0,11	0,05	17,84	3,46	<0,02	0,12	0,2	5,41	2,33	1,49	4,69
AM-26	26	1,54	0,05	0,03	0,11	0,82	0,23	0,05	0,09	0,11	0,05	14,69	1,63	<0,02	0,13	0,21	5,24	2,07	1,41	4,07
AM-27	27	1,68	0,07	0,04	0,11	0,97	0,20	0,02	0,09	0,09	0,04	14,35	4,48	<0,02	0,13	0,34	5,94	2,05	1,15	5,22
AM-28	28	1,20	0,03	0,01	0,03	0,24	0,09	0,07	0,07	0,10	0,04	13,18	2,2	<0,02	0,08	0,09	2,39	1,57	1,03	2,31
AM-29	29	1,55	0,05	0,01	0,03	0,19	0,08	0,06	0,10	1,20	0,70	17,37	2,97	<0,02	0,13	0,18	3,05	1,43	1,35	2,57
AM-30	30	1,78	0,08	0,04	0,10	0,98	0,17	0,06	0,11	0,12	0,05	9,38	2,58	<0,02	0,16	0,27	7,36	2,99	1,14	5,45
AM-31	31	1,31	0,09	0,01	0,03	0,23	0,57	0,31	0,12	0,09	0,03	12	8,34	0,13	0,1	0,13	2,91	1,37	1,02	2,21
AM-32	32	1,35	0,04	0,01	0,02	1,83	0,47	0,17	0,13	0,19	1	13,57	2,85	0,12	0,13	0,17	3,55	1,2	1,22	2,16

Tabela 19 - Resultados das análises químicas de lixiviados por ácido nítrico das amostras de solo provenientes da sondagem ST-06

Amostras	Profundidade de Coleta (m)	Concentrações dos elementos de interesse (µg/L)																		
		Ge	As	Se	Rb	Y	Mo	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Th	U	La	Ce
AM-01	1	0,33	0,15	1,05	12,56	7,65	0,007	0,01	<0,05	0,01	<0,02	0,16	5,71	0,021	9,76	0,01	0,10	2,35	38,80	186,65
AM-02	2	0,74	0,15	1,80	0,96	18,87	0,006	0,006	<0,05	<0,004	<0,02	0,29	9,97	0,012	17,34	0,01	0,10	18,15	69,48	101,97
AM-03	3	0,41	0,13	1,01	1,93	8,99	0,004	0,01	<0,05	<0,004	<0,02	0,28	10,90	0,009	17,59	<0,004	0,13	4,76	46,85	106,52
AM-04	4	0,39	< 0,009	1,03	1,28	8,77	<0,003	0,008	<0,05	<0,004	<0,02	0,26	6,62	0,013	16,72	<0,004	0,11	3,74	47,46	99,64
AM-05	5	0,47	< 0,009	1,44	1,38	12,21	<0,003	0,013	<0,05	<0,004	<0,02	0,41	11,60	0,022	18,12	<0,004	0,11	4,21	51,27	122,20
AM-06	6	0,42	0,03	1,07	1,37	10,00	<0,003	0,009	<0,05	<0,004	<0,02	0,25	7,74	0,013	17,01	<0,004	0,10	3,61	52,34	114,80
AM-07	7	0,56	<0,009	1,50	1,31	11,67	0,004	0,003	<0,05	<0,004	<0,02	0,38	8,87	0,015	19,00	<0,004	0,11	8,00	57,56	155,17
AM-08	8	0,60	0,04	1,41	1,05	12,67	0,004	0,005	<0,05	<0,004	<0,02	0,38	8,66	0,014	17,59	<0,004	0,12	13,97	52,42	124,80
AM-09	9	0,62	0,07	1,43	1,32	12,50	0,005	0,007	<0,05	<0,004	<0,02	0,34	9,17	0,012	16,86	<0,004	0,10	12,86	51,40	123,18
AM-10	10	0,74	<0,009	1,82	1,38	14,45	0,008	0,006	<0,05	<0,004	<0,02	0,38	12,70	0,011	19,70	<0,004	0,08	12,29	72,94	156,66
AM-11	11	0,67	0,03	1,64	0,76	18,26	0,005	0,005	<0,05	<0,004	<0,02	0,29	9,51	0,011	16,58	<0,004	0,08	15,21	67,38	102,05
AM-12	12	0,65	0,03	1,56	0,77	16,58	0,005	0,004	<0,05	<0,004	<0,02	0,28	9,63	0,010	16,27	<0,004	0,07	16,77	71,71	110,09
AM-13	13	0,57	<0,009	1,63	1,17	16,26	0,006	0,004	<0,05	<0,004	<0,02	0,26	9,47	0,010	16,98	<0,004	0,07	14,26	61,03	108,81
AM-14	14	0,70	<0,009	1,91	0,80	18,68	0,004	0,003	<0,05	<0,004	<0,02	0,40	8,82	0,014	17,08	<0,004	0,10	22,17	72,37	123,34
AM-15	15	0,82	0,06	2,11	1,13	20,77	0,004	0,005	<0,05	<0,004	<0,02	0,29	9,95	0,013	15,46	<0,004	0,08	36,92	75,65	120,88
AM-16	16	1,00	<0,009	2,24	1,30	25,81	<0,003	0,007	<0,05	<0,004	<0,02	0,43	12,00	0,017	18,03	<0,004	0,09	28,83	94,23	137,41
AM-17	17	0,78	0,08	1,81	1,55	19,05	0,006	0,011	<0,05	<0,004	<0,02	0,33	11,00	0,016	14,94	<0,004	0,10	27,42	75,11	115,32
AM-18	18	0,73	0,04	1,89	1,72	17,61	0,007	0,013	<0,05	<0,004	<0,02	0,30	14,00	0,019	12,73	<0,004	0,08	27,28	69,91	124,93
AM-19	19	0,79	0,09	1,83	1,02	17,93	<0,003	0,005	<0,05	<0,004	<0,02	0,41	9,64	0,016	12,46	<0,004	0,12	20,76	70,92	101,95
AM-20	20	0,95	<0,009	2,07	0,82	21,72	<0,003	0,006	<0,05	<0,004	<0,02	0,40	11,30	0,014	13,29	<0,004	0,16	23,55	90,84	114,32
AM-21	21	1,01	0,05	2,44	0,43	20,94	<0,003	0,006	<0,05	<0,004	<0,02	0,30	9,74	0,009	11,38	<0,004	0,13	20,85	95,42	104,53
AM-22	22	1,04	<0,009	2,69	1,74	24,21	<0,003	0,006	<0,05	<0,004	<0,02	0,50	12,40	0,016	12,74	<0,004	0,11	17,05	100,59	130,50
AM-23	23	1,42	<0,009	3,16	0,68	29,58	0,004	0,011	<0,05	<0,004	<0,02	0,44	12,00	0,011	13,46	<0,004	0,13	14,78	117,44	118,81
AM-24	24	1,13	<0,009	2,65	1,63	26,66	<0,003	0,012	<0,05	<0,004	<0,02	0,39	14,60	0,015	11,30	<0,004	0,09	12,21	101,69	127,74
AM-25	25	1,35	0,03	3,21	1,52	33,22	<0,003	0,012	<0,05	<0,004	<0,02	0,42	14,50	0,016	14,23	<0,004	0,12	14,08	118,99	134,65
AM-26	26	1,45	<0,009	3,55	1,28	41,15	0,007	0,009	<0,05	<0,004	<0,02	0,38	13,30	0,015	15,54	<0,004	0,10	12,76	120,97	137,13
AM-27	27	1,53	0,11	3,29	1,12	41,00	<0,003	0,014	<0,05	<0,004	<0,02	0,28	14,20	0,016	13,70	<0,004	0,10	10,09	124,27	142,59
AM-28	28	1,60	<0,009	3,54	0,68	40,96	0,005	0,006	<0,05	<0,004	<0,02	0,27	6,33	0,012	12,22	<0,004	0,09	12,04	121,36	120,84
AM-29	29	1,87	<0,009	4,22	0,82	51,38	<0,003	0,006	<0,05	<0,004	<0,02	0,42	7,15	0,014	17,05	<0,004	0,13	19,33	150,60	145,18
AM-30	30	1,85	<0,009	4,20	1,31	47,90	0,004	0,015	<0,05	0,01	<0,02	0,35	10,50	0,017	9,79	<0,004	0,08	10,14	152,32	154,13
AM-31	31	1,86	<0,009	4,19	0,56	51,67	0,005	0,005	<0,05	<0,004	<0,02	0,23	5,76	0,011	8,34	<0,004	0,10	11,31	152,00	134,17
AM-32	32	2,09	<0,009	5,06	0,64	63,02	0,031	0,07	<0,05	<0,004	<0,02	0,42	6,95	0,007	9,73	<0,004	0,12	13,04	176,34	155,95

Conforme observado na Tabela 16, os elementos Al (8,2 a 65,7 mg/L), Fe (22,0a 720,0 mg/L), Mn (0,1 a 1,2 mg/L), Mg (0,300 a 5,5 mg/L), K (1,5 a 17,1 mg/L) e Ca (0,6 a 17,4 mg/L) apresentaram as maiores concentrações nos lixiviados das amostras pertencentes à sondagem ST-01, em comparação com as concentrações dos mesmos elementos nas amostras ST-06, Tabela 18.

As concentrações de Na nas amostras da sondagem ST-01 foram detectadas em superfície, nas profundidades de 1, 2, 3, 6, 7, 9 e 10 metros. Nas demais amostras não foram detectadas concentrações superiores aos limites de detecção analíticos laboratoriais, Tabela 16.

As Tabelas 16 e 17 indicam que nos lixiviados referentes às amostras de solo pertencentes à sondagem ST-01, os elementos Bi, Ce Co, Cu, Cr, Li, Ni, Pb, Sr e Zn apresentam concentrações que decrescem com o aumento da profundidade de coleta. Enquanto que os elementos As, Ba, Be, Bi, Cs, Ga, Ge, Mo, Rb, Sb Sc, Se, Te, Th, Ti, Tl e U foram detectados ao longo de toda a sondagem, porém as concentrações não apresentam comportamento direto com a profundidade de coleta das amostras.

Os elementos Cd e Sn somente foram detectados nas amostras de solo coletadas até as profundidades de 16 e 18 metros, respectivamente. Nas amostras mais profundas não foram obtidas concentrações superiores aos limites de detecção, Tabela 17.

Conforme observado na Tabela 18, os elementos Al (1,20 a 2,49 mg/L), Fe (0,031 a 0,24 mg/L), Mg (0,020 a 0,538 mg/L), K (0,047 a 3,95 mg/L) e Ca (0,183 a 3,76 mg/L) apresentaram as maiores concentrações nos lixiviados das amostras pertencentes à sondagem ST-06.

As Tabelas 18 e 19 indicam que nos lixiviados referentes às amostras de solo pertencentes à sondagem ST-06, somente os elementos Cu, Pb e Sc apresentam concentrações decrescentes em relação à profundidade de coleta. As concentrações dos elementos Bi, Ce, Co, Cr, Li, Ni, Sr e Zn, diferentemente do observado nas amostras coletadas na sondagem ST-01, variaram com a profundidade de coleta das amostras. Os elementos As, Ba, Be, Bi, Cd, Cs, Ga, Mn, Mo, Na, Rb, Sb, Th, Ti, Tl e U também não apresentaram distribuição relacionada com a profundidade de coleta das amostras de solo.

O elemento Cr foi detectado somente nos lixiviados provenientes das amostras de solo coletadas nas profundidades de 31 e 32 metros.

As Tabelas 20 e 21indicam que dentre todos os elementos analisados, apenas as diferenças entre as médias das concentrações de Li, Ge, Se, Na e Cr obtidas nas amostras dos

lixiviados por ácido nítrico nas sondagens ST-01 e ST-06 não foram significativas (p>0,05). Para os demais elementos analisados, as variações de concentrações foram significativas (p<0,05).

Tabela 20 - Comparação das médias das concentrações dos elementos químicos de interesse nos lixiviados com ácido nítrico nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01 e ST-06

Variável	Área	N	Média	p
Alumínio	ST-01	27	25,826[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	1,816[b]	
Ferro	ST-01	27	261,111[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,093[b]	
Manganês	ST-01	27	0,86296[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,02584[b]	
Magnésio	ST-01	27	1,474[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,1348[b]	
Cálcio	ST-01	27	6,904[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,837[b]	
Potássio	ST-01	27	9,7296[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,5207[b]	
Vanádio	ST-01	27	1,5333[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,0807[b]	
Lítio	ST-01	27	0,20074[a]	0,5315
	ST-06	32	0,17375[a]	
Berílio	ST-01	27	0,42778[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,08281[b]	
Escândio	ST-01	27	138[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	22,283[b]	
Titânio	ST-01	27	342,81[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	4,22[b]	
Cobalto	ST-01	27	43,259[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,105[b]	
Níquel	ST-01	27	63,63[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,1772[b]	
Cobre	ST-01	27	146,852[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	6,034[b]	
Zinco	ST-01	27	125[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	1,87[b]	
Gálio	ST-01	27	34[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	2,805[b]	
Estrôncio	ST-01	27	20,407[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	3,509[b]	
Germânio	ST-01	27	0,9731[a]	0,0207
	ST-06	32	0,7074[a]	
Selênio	ST-01	27	23,266[a]	0,0962
	ST-06	32	18,407[a]	

Médias com letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p<0,05)

Tabela 21 - Comparação das médias das concentrações dos elementos químicos de interesse nos lixiviados com ácido nítrico nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01 e ST-06. Continuação.

Variável	Área	N	Média	p
Rubídio	ST-01	27	41,074[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	1,50[b]	
Ítrio	ST-01	27	24,442[a]	0,0077*
	ST-06	32	13,741[b]	
Césio	ST-01	27	0,66296[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,34125[b]	
Bário	ST-01	27	100,04[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	10,15[b]	
Tálio	ST-01	27	0,3815[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,0138[b]	
Chumbo	ST-01	27	83,519[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	14,781[b]	
Tório	ST-01	27	42,081[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,103[b]	
Urânio	ST-01	27	27,87[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	15,15[b]	
Lantânio	ST-01	27	88,18[a]	0,0086*
	ST-06	32	55,52[b]	
Cério	ST-01	27	741,48[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	126,78[b]	
Sódio	ST-01	27	77,14[a]	0,8876
	ST-06	32	67,70[a]	
Cromo	ST-01	27	54,93[a]	0,0696
	ST-06	32	0,13[a]	
Urânio	ST-01	27	27,87[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	15,15[b]	
Arsênio	ST-01	27	42,778[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,0727[b]	
Molibdênio	ST-01	27	0,10[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,00655[b]	
Cádmio	ST-01	27	0,04937[a]	< 0,0001*
	ST-06	32	0,00975[b]	
Antimônio	ST-01	27	0,031[a]	0,0005*
	ST-06	32	0,01[b]	
Bismuto	ST-01	27	0,04741[a]	0,0078*
	ST-06	32	0,01[b]	

Médias com letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p<0,05$)

As Tabelas 22 e 23 apresentam os resultados das correlações de Pearson entre os elementos detectados nos lixiviados com ácido nítrico das amostras de solo pertencentes às sondagens ST-01 e ST-06.

Tabela 22 - Resultados da análise estatística de correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nos lixiviados com ácido nítrico nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-01

	Al (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Mg (µg/L)	Ca (µg/L)	K (µg/L)	V (µg/L)	Ti (µg/L)	Co (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ga (µg/L)	Sr (µg/L)	As (µg/L)	Mo (µg/L)	Cd (µg/L)	Ba (µg/L)	Pb (µg/L)	Na (µg/L)
Prof Coleta (m)	-0,917**	-0,660*	-0,636*	-0,687**	-0,789**	0,552*	-0,570*	-0,529*	-0,873**	-0,837**	-0,580*	-0,499*	-0,790**	-0,869**	0,093	-0,564*	-0,860**	-0,816**	-0,164	-0,875**
Al (µg/L)		0,581*	0,584*	0,562*	0,746**	-0,589*	0,480*	0,502*	0,840**	0,743**	0,537*	0,819**	0,684**	0,904**	0,064	0,564*	0,791**	0,697**	0,172	0,816**
Fe (µg/L)			0,906**	0,613*	0,603*	-0,125	0,784**	0,829**	0,671**	0,775**	0,615*	-0,028	0,779**	0,563*	0,231	0,706**	0,566*	0,847**	0,288	0,823**
Mn (µg/L)				0,572*	0,529*	0,023	0,814**	0,814**	0,770**	0,821**	0,607*	0,092	0,728**	0,511*	0,335	0,646*	0,650*	0,795**	0,476*	0,823**
Mg (µg/L)					0,823**	-0,514*	0,329	0,533*	0,812**	0,740**	0,397*	0,131	0,670**	0,709**	0,284	0,718**	0,567*	0,624*	0,005	0,582*
Ca (µg/L)						-0,762**	0,244	0,324	0,787**	0,658*	0,514*	0,259	0,663*	0,897**	0,245	0,708**	0,623*	0,680**	-0,075	0,591*
K (µg/L)							0,262	0,229	-0,401*	-0,165	-0,095	-0,354	-0,208	-0,759**	0,076	-0,507*	-0,315	-0,210	0,484*	-0,161
V (µg/L)								0,887**	0,573*	0,778**	0,652*	-0,016	0,726**	0,272	0,084	0,346	0,637*	0,733**	0,714**	0,869**
Ti (µg/L)									0,608*	0,827**	0,676**	-0,023	0,821**	0,309	0,277	0,408*	0,594*	0,782**	0,543*	0,806**
Co (µg/L)										0,899**	0,552*	0,457*	0,770**	0,810**	0,227	0,636*	0,886**	0,764**	0,325	0,805**
Ni (µg/L)											0,765**	0,262	0,937**	0,662*	0,240	0,569*	0,838**	0,892**	0,458*	0,924**
Cu (µg/L)												0,069	0,842**	0,473*	0,424*	0,407*	0,638*	0,779**	0,465*	0,747**
Zn (µg/L)													0,158	0,592*	-0,222	0,048	0,621*	0,160	0,010	0,255
Ga (µg/L)														0,634*	0,255	0,526*	0,746**	0,925**	0,362	0,887**
Sr (µg/L)															0,071	0,679**	0,778**	0,660*	-0,032	0,644
As (µg/L)																0,358	0,105	0,196	0,161	0,025
Mo (µg/L)																	0,434	0,540	-0,027	0,516
Cd (µg/L)																		0,718**	0,471*	0,828**
Sn (µg/L)																			0,280	0,897**
Ba (µg/L)																				0,495*

* - P ≤ 0,05; ** - P ≤ 0,0001;

Tabela 23 - Resultados da análise estatística de correlação matricial (Pearson – r) entre os elementos químicos detectados nos lixiviados com ácido nítrico nas amostras de solo provenientes das sondagens ST-06

	Al (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Mg (µg/L)	Ca (µg/L)	K (µg/L)	V (µg/L)	Ti (µg/L)	Co (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ga (µg/L)	Sr (µg/L)	As (µg/L)	Mo (µg/L)	Cd (µg/L)	Ba (µg/L)	Pb (µg/L)	Na (µg/L)
Prof. Coleta (m)	-0,704	-0,777	-0,324	-0,563	-0,447	-0,580	0,634	-0,363	0,490	0,231	-0,661	0,028	-0,226	-0,154	-0,427	0,167	0,346	0,168	-0,623	0,127
Al (µg/L)		0,623	0,359	0,408	0,244	0,185	-0,156	0,313	0,040	-0,015	0,435	0,145	0,634	0,110	0,270	-0,131	-0,352	0,045	0,609	-0,190
Fe (µg/L)			0,430	0,702	0,663	0,646	-0,526	0,767	-0,195	-0,108	0,832	0,024	-0,021	0,503	0,442	-0,102	-0,229	-0,292	0,276	-0,259
Mn (µg/L)				0,352	0,417	0,212	-0,282	0,110	-0,139	0,183	0,467	0,129	-0,180	0,343	-0,064	-0,198	-0,162	0,273	0,346	-0,232
Mg (µg/L)					0,942	0,480	-0,554	0,508	0,102	-0,005	0,846	0,052	-0,125	0,840	0,364	-0,069	-0,107	-0,029	0,051	-0,209
Ca (µg/L)						0,555	-0,605	0,536	0,161	0,049	0,894	0,076	-0,318	0,931	0,391	-0,108	-0,044	-0,008	-0,120	-0,184
K (µg/L)							-0,631	0,305	-0,432	0,133	0,761	0,077	-0,348	0,348	0,399	-0,104	-0,028	-0,105	0,215	-0,106
V (µg/L)								-0,255	0,431	0,240	-0,645	0,087	0,300	-0,388	-0,166	0,436	0,370	0,077	-0,268	-0,049
Ti (µg/L)									0,160	-0,160	0,538	0,080	-0,124	0,546	0,422	0,015	-0,099	-0,396	-0,182	-0,149
Co (µg/L)										0,222	-0,071	0,236	0,143	0,430	0,021	0,135	0,213	0,188	-0,481	0,019
Ni (µg/L)											0,084	0,464	-0,127	0,142	0,175	-0,021	0,177	0,685	-0,031	0,040
Cu (µg/L)												0,052	-0,269	0,757	0,420	-0,073	-0,053	-0,102	0,136	-0,198
Zn (µg/L)													0,036	0,074	0,086	-0,219	-0,053	0,423	0,012	-0,102
Ga (µg/L)														-0,362	0,072	0,020	-0,266	0,096	0,368	-0,102
Sr (µg/L)															0,341	-0,033	0,045	0,023	-0,340	-0,166
As (µg/L)																-0,022	-0,080	-0,029	-0,028	-0,157
Mo (µg/L)																	0,815	-0,264	-0,234	-0,015
Cd (µg/L)																		-0,073	-0,380	0,004
Ba (µg/L)																			0,119	0,127
Pb (µg/L)																				-0,056

* - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,0001$;

A análise da Tabela 22 indicou que os elementos Al, Ca, Co, Ni, Ga Sr, Cd , Ba e Na apresentaram correlação negativa moderada a forte com a profundidade, indicando que o comportamento destes elementos é inverso à profundidade de coleta das amostras de solo no perfil ST-01. Já na sondagem ST-06, localizada na área onde não houve aplicação de vinhaça, nota-se que somente os elementos Al e Fe apresentaram correlação negativa moderada com a profundidade. Tabela 23.

A comparação entre as Tabelas 22 e 23 indica que as concentrações dos elementos na sondagem ST-01 estão mais correlacionadas entre sí do que as concentrações dos elementos na sondagem ST-06.

O Na detectado nas amostras da sondagem ST-01 (Tabelas 22) apresentou correlação positiva moderada a forte com os elementos Al, Fe, Mn, V, Ti, Co, Ni, Cu, Ga, Cd e Sn, enquanto que na sondagem ST-06 (Tabela 23) o Na não apresentou correlação positiva ou negativa superior a 0,3 com quaisquer elementos analisado.

Na sondagem ST-01 (Tabelas 22), o K apresentou correlação negativa moderada com o elemento Ca, sendo que o K concentra-se nas profundidades superficiais enquanto que o Ca concentra-se nas amostras mais profundas. Já nas amostras coletadas em ST-06, o elemento K não apresentou correlação com o Ca (Tabela 23).

Com relação ao Ca, em ambos os conjuntos de amostras analisadas nota-se que há uma correlação positiva forte com o Mg.

6.2.3 Análises microbiológicas (fungos e leveduras)

No total de 59 amostras de solo analisadas foram isoladas 918.100 unidades formadoras de colônia na sondagem ST-01, sendo 868.100 (94,55 %) de fungos filamentosos e 50.000 (5,45 %) de leveduras. Na sondagem ST-06 foram isoladas 5.742.350 unidades formadoras de colônia, sendo 4.725.350 (82,29 %) de fungos filamentosos e 1.017.000 (17,71 %) de leveduras (Figura 23).

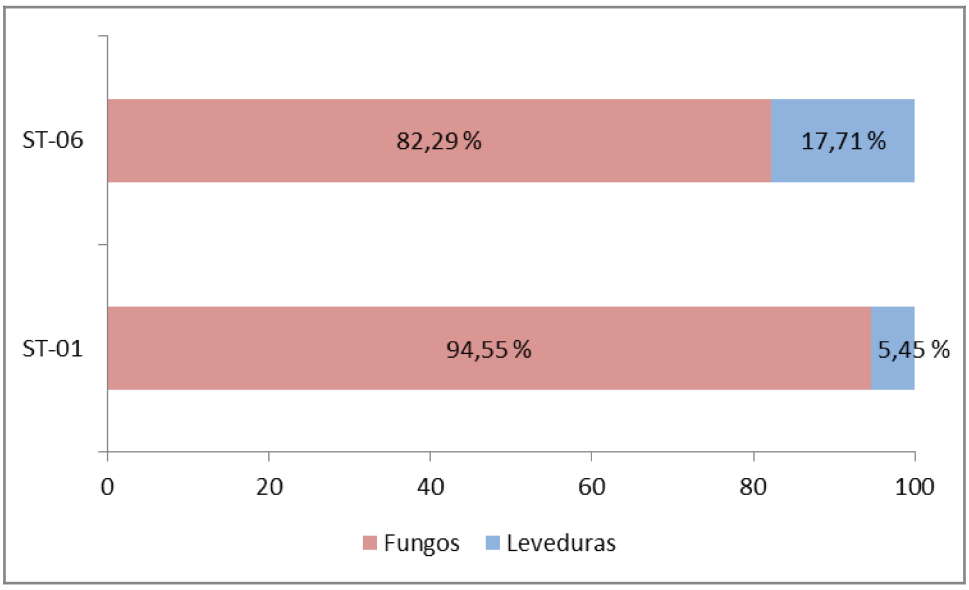

Figura 23 - Porcentagem de isolamentos de fungos e leveduras nas amostras das sondagens ST-01 e ST-06

A contagem de unidades formadoras de colônia (UFC) em cada amostra de solo coletada na sondagem realizada no interior do tanque de vinhaça (ST-01) encontra-se descrita na Tabela 24.

A Tabela 25 apresenta as contagens de unidades formadoras de colônia em cada amostra de solo coletada metro a metro na sondagem realizada em área onde não houve aplicação de vinhaça (ST-06).

Tabela 24 - Resultados das unidades formadoras de colônia de fungos filamentosos e leveduras nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-01

Amostras	Profundidade de coleta (m)	Contagem (UFC/g)	Resultados		
			Fungos	Leveduras	Não identificado
1	1	1 X 10^3	1 (*Cladosporium* spp)	0	0
2	1,7	2 X 10^3	2 (*Cladosporium* spp)	0	0
3	2	2 X 10^4	2 (*Cladosporium* spp e *Penicillium* spp)	0	0
4	3	3 X 10^5	3 (2 *Fusarium* spp e 1 *Alternaria* spp)	0	0
5	4	3 X 10^4	2 (*Penicillium* spp)	1 (*Trichosporon* spp)	0
6	5	3 X 10^3	3 (2 *Phoma* spp e 1 *Penicillium* spp)	0	0
7	6	1 X 10^3	1 (*Acremonium* spp)	0	0
8	7	3 X 10^3	3 (2 *Penicillium* spp e *Aspergillus* spp)	0	0
9	8	4 X 10^4	3 (*Fusarium* spp)	1 (*Cryptococcus* spp)	0
10	9	6 X 10^4	6 (4 *Aspergillus* spp e 2 *Cladosporium* spp)	0	0
11	9,5	9 X 10^3	9 (4 *Rhizopus* spp, 4 *Cladosporium* spp e *Phoma* spp)	0	0
12	10	5 X 10^3	5 (2 *Cladosporium* spp, 2 *Alternaria* spp e *Curvularia* spp)	0	0
13	10,7	2 X 10^3	2 (*Aspergillus* spp e *Curvularia* spp)	0	0
14	11	5 X 10^4	4 (2 *Cladosporium* spp e 2 *Penicillium* spp)	1 (*Candida* spp)	0
15	12	4 X 10^4	3 (*Helminosporium* spp)	1 (*Cryptococcus* spp)	0
16	13	4 X 10^4	4 (*Alternaria* spp)	0	0
17	14	10 X 10^4	9 (5 *Alternaria* spp, 2 *Epicoccum* spp e 2 *Cladosporium* spp)	0	1
18	15	2 X 10^4	1 (*Cladosporium* spp)	1 (*Cryptococcus* spp)	0
19	16	8 X 10^4	8 (6 *Cladosporium* spp, *Phoma* spp e *Penicillium* spp)	0	0
20	17	1 X 10^3	0	0	1
21	18	3 X 10^4	3 (*Acremonium* spp)	0	0
22	19	5 X 10^3	4 (*Cladosporium* spp)	0	1
23	20	2 X 10^4	2 (*Trichoderma* spp)	0	0
24	21	1 X 10^2	1 (*Trichoderma* spp)	0	0
25	22	3 X 10^3	3 (*Trichoderma* spp, *Cladosporium* spp e *Penicillium* spp)	0	0
26	23	2 X 10^3	1 (*Penicillium* spp)	0	1
27	24	1 X 10^3	1 (*Cladosporium* spp)	0	0

Tabela 25 - Resultados das unidades formadoras de colônia de fungos filamentosos e leveduras nas amostras de solo coletadas na sondagem ST-06

Amostra	Profundidadede Coleta (m)	Contagem (UFC/g)	Resultados		
			Fungos	Leveduras	id
1	1	1 X 10^4	0	1 (*Geotrichum* spp)	
2	2	2 X 10^3	2 (*Rhizopus* spp)	0	
3	3	2 X 10^2	2 (*Scopulariopsis* spp e *Trichoderma* spp)	0	
4	4	3 X 10^3	2 (*Rhizopus* spp e *Trichoderma* spp)	1 (*Trichosporon* spp)	
5	5	13 X 10^4	10 (*Scopulariopsis* spp)	3 (*Saccaromyces cerevisae*)	
6	6	3 X 10^4	2 (*Rhizopus* spp)	1 (*Saccaromyces cerevisae*)	
7	7	1 X 10^3	0	1 (*Cryptococcus* spp)	
8	8	13 X 10^3	12 (6 *Cladosporium* spp, 2 *Helmintosporium* spp, 2 *Scopulariopsis* spp, *Penicillium* spp e *Epicoccum* spp)	1 (*Cryptococcus* spp)	
9	9	6 X 10^5	6 (3 *Alternaria* spp, 2 *Fusarium* spp e *Penicillium* spp)	0	
10	10	8 X 10^5	3 (*Helmintosporium* spp, *Aspergillus* spp e *Fusarium* spp)	5 (*Cryptococcus* spp)	
11	11	9 X 10^4	2 (*Helmintosporium* spp e *Penicillium* spp)	7 (*Saccaromyces cerevisae*)	
12	12	5 X 10^3	5 (*Helmintosporium* spp)	0	
13	13	18 X 10^4	16 (9 *Aspergillus* spp, 4 *Stachybotrys* spp e 3 *Trichoderma* spp)	0	
14	14	8 X 10^5	8 (5 *Stachybotrys* spp, *Verticillium* spp, *Penicillium* spp e *Trichoderma* spp)	0	
15	15	5 X 10^4	2 (*Helmintosporium* spp e *Penicillium* spp)	3 (*Cryptococcus* spp)	
16	16	4 X 10^5	3 (*Penicillum* spp, *Trichoderma* spp e *Monascus* spp)	0	
17	17	11 X 10^5	11 (7 *Helminsotporium* spp e 4 *Aspergillus* spp)	0	
18	18	2 X 10^4	2 (*Aspergillus* spp e *Cladosporium* spp)	0	
19	19	8 X 10^4	4 (2 *Aspergillus* spp, *Trichoderma* spp e *Helmintosporiu*m spp)	4 (*Geotrichum* spp)	
20	20	6 X 10^4	4 (2 *Penicillium* spp, *Rhizopus* spp e *Aspergillus* spp)	2 (*Cryptococcus* spp)	
21	21	4 X 10^5	1 (*Helmintosporium* spp)	2 (*Cryptococcus* spp e *Geotrichum* spp)	
22	22	5 X 10^3	1 (*Stachybotrys* spp)	4 (*Cryptococcus* spp)	
23	23	2 X 10^4	2 (*Aspergillus* spp)	0	
24	24	1 X 10^2	1 (*Aspergillus* spp)	0	
25	25	3 X 10^4	3 (*Trichoderma* spp, *Rhizopus* spp e *Scopulariopsis* spp)	0	
26	26	11 X 10^5	10 (7 *Cladosporium* spp e 3 *Helmintosporium* spp)	0	
27	27	3 X 10^4	3 (2 *Trichoderma* spp e *Cladosporium* spp)	0	
28	28	1 X 10^1	1 (*Aspergillus* spp)	0	
29	29	1 X 10^1	1 (*Trichoderma* spp)	0	
30	30	1 X 10^1	1 (*Penicillium* spp)	0	
31	31	1 X 10^1	1 (*Penicillium* spp)	0	
32	32	1 X 10^1	1 (*Penicillium* spp)	0	

Observa-se que a maior ocorrência de isolamentos foi de fungos filamentos, em todas as amostras de solo, sendo que as leveduras somente foram isoladas em 5 amostras de solo do total de 27 amostras analisadas. A maior concentração de fungos filamentosos foi identificada nos intervalos de 8-9,0 até 9,5-10,0 metros, 13-14 metros, 15-16 metros e 18-19 metros.

Os resultados indicam que não há uma distribuição uniforme dos isolamentos em comparação com a profundidade das amostras, porém podemos identificar uma concentração maior nos intervalos 3-4, 7-8, 10,7-11, 11-12 e 14-15 metros.

Os picos de isolamento situam-se entre as amostras 5 a 26. As amostras que apresentaram a menor ocorrência de fungos filamentosos foram coletadas nos intervalos 0-1 e 6,7 metros.

Observam-se na Tabela 25 que não foram isoladas leveduras na sondagem ST-06 nas amostras coletadas nos intervalos: 1-2, 2-3, 8-9, 11-12, 12-13, 13-14, 16-17, 17-18 e 23-32 metros.

Com relação aos isolamentos na sondagem ST-01, no total foram isolados 12 gêneros de fungos e 3 gêneros de leveduras. As porcentagens de isolamento de fungos por gêneros foram: *Cladosporium spp (33*,72 %), *Alternaria* spp (13,95 %), *Penicillium* spp (12,79 %), *Aspergillus* spp (6,98 %), *Fusarium* spp (5,81 %), *Phoma* spp (4,65 %), *Acremonium* spp (4,65 %), *Rhizopus* spp (4,65 %), *Trichoderma* spp (4,65 %), *Helmintosporium* spp (3,49 %), *Curvularia* spp (2,33 %) e *Epicoccus* spp (2,33 %). Figura 24. Com relação às leveduras, as porcentagens de isolamento por gênero foram: *Cryptococcus* spp (60,00 %), *Trichosporon* spp (20,00 %) e *Candida* spp (20,00 %). (Figura 25).

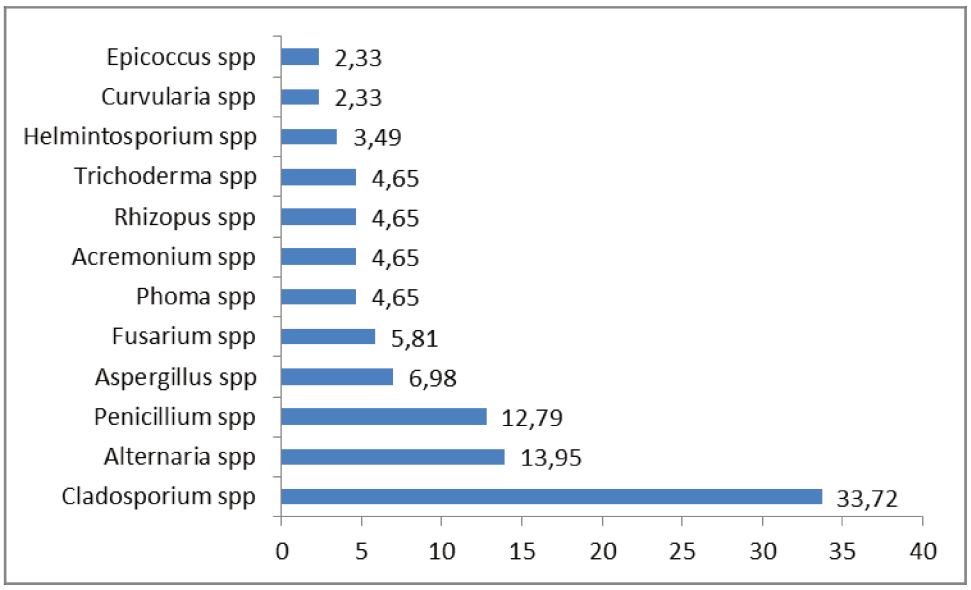

Figura 24 - Porcentagem dos gêneros de fungos isolados nas amostras de solo ST-01

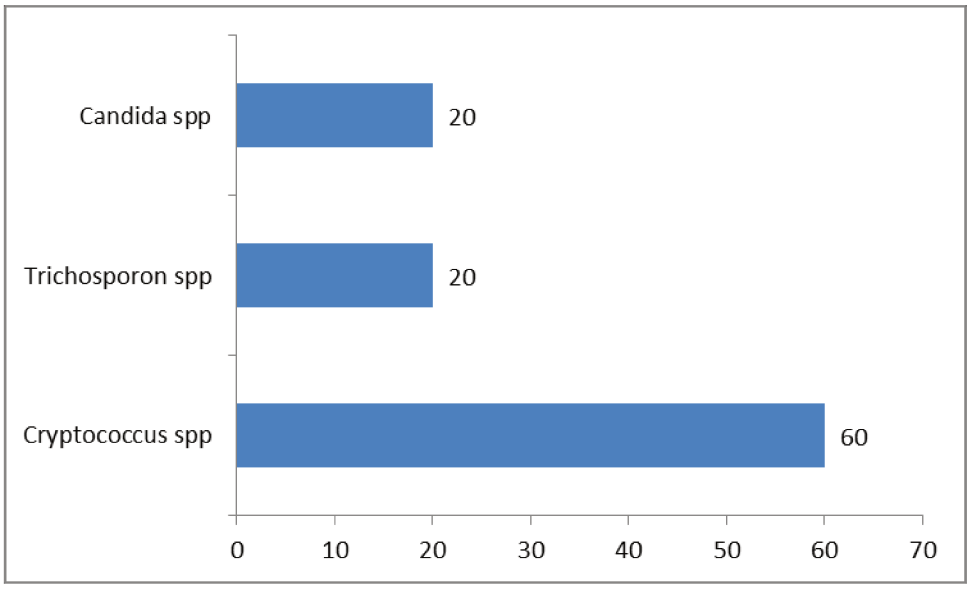

Figura 25 - Porcentagem dos gêneros de leveduras isolados nas amostras de solo ST-01

Na sondagem ST-06, foram isolados 13 gêneros de fungos e 4 gêneros de leveduras. Dentre os fungos, as porcentagens de isolamento por gêneros foram: *Helmintosporium* spp (18,03 %), *Aspergillus* spp (17,22 %), *Scopulariopsis* spp (12,30 %), *Cladosporium* spp (12,30 %), *Trichoderma* spp (9,83 %), *Penicillium* spp (9,01 %), *Strachybotrys* spp (8,19 %), *Rhizopus* spp (5,74 %), *Alternaria* spp (2,46 %), *Fusarium* spp (2,46 %), *Epicoccum* spp (0,82 %), *Verticillium*

spp (0,82 %) e *Monascus* spp (0,82 %). Figura 26. Dentre as leveduras isoladas, as porcentagens por gênero foram: *Cryptococcus* spp (48,57 %), *Saccaromyces Cerevisae* (31,43 %), *Geotrichum* spp (17,14 %) e *Trichosporon* spp (2,86 %). Figura 27.

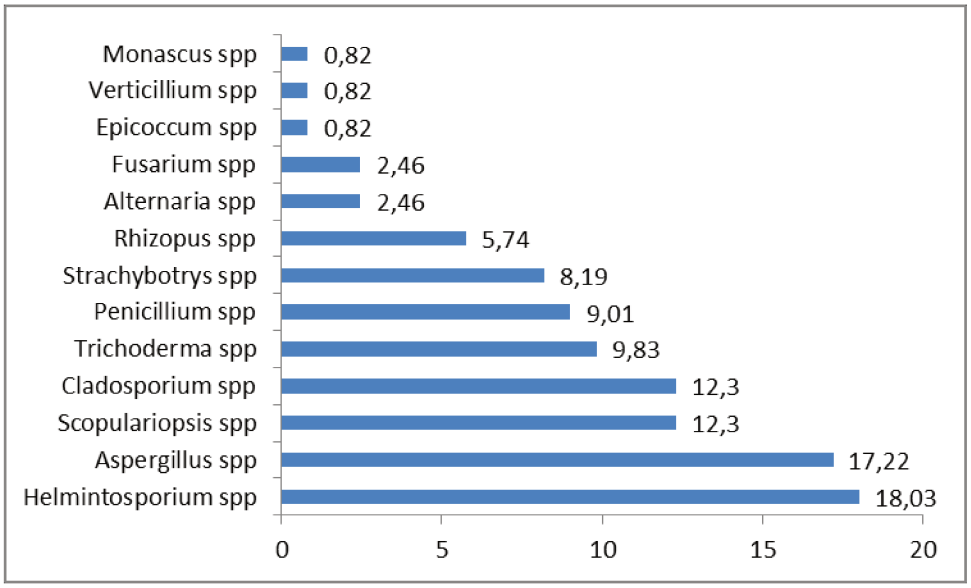

Figura 26 - Porcentagem dos gêneros de fungos isolados nas amostras de solo ST-06

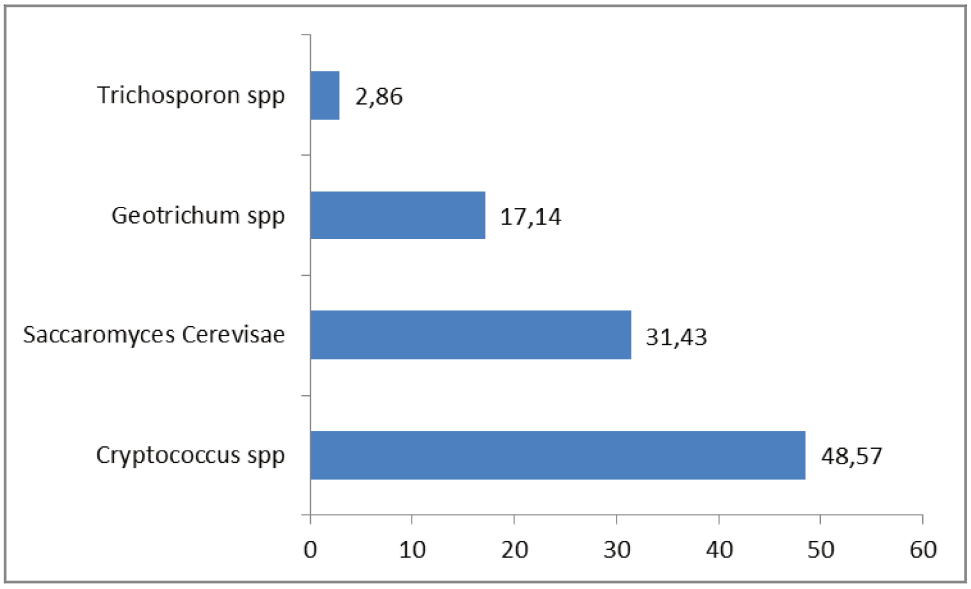

Figura 27 - Porcentagem dos gêneros de leveduras isolados nas amostras de solo ST-06

Somente nas amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 foram identificadas leveduras *Saccaromyces cerevisae* que são características da vinhaça. Os fungos e leveduras

identificados em ambas às sondagens são comuns em solos. Conforme observado na Tabela 26, as contagens de Unidades Formadoras de Colônias Total e das Leveduras foram significativamente maior ($p<0,05$) na sondagem ST-06 proveniente da área onde não há a aplicação de vinhaça, quando comparadas com os resultados da sondagem ST-01 localizada no interior do tanque de vinhaça. Enquanto que para as contagens de Unidades Formadoras de Colônia para os Fungos não houve diferença significativa ($p>0,05$).

Tabela 26 - Comparação das médias das contagens de Unidades Formadoras de Colônia Total (UFC/g)/1000, Unidades Formadoras de Colônia de Fungos (UFC/g)/1000 e Unidades Formadoras de Colônia de Fungos (UFC/g)1000 de Leveduras nas sondagens ST-01 e ST-06

Variável	Área	N	Média	p
Contagem	ST-01	27	32,15[b*]	0,0196
	ST-06	32	186,23[a]	
Fungos	ST-01	27	3,185[a]	0,4763
	ST-06	32	3,812[a]	
Leveduras	ST-01	27	0,019[b]	0,0122
	ST-06	32	1,094[a]	

Médias com letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p<0,05$)
* Resultados das unidades formadoras de colônia foram divididos por 1.000.

7 DISCUSSÃO

7.1 Fluorescência de Raios x e ensaios de perda ao fogo

Um solo contaminado pode ser definido quando há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nele tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural (CETESB 2012).

A aplicação de vinhaça ao longo dos anos, considerando-se a taxa de absorção de potássio pela planta e sua concentração na vinhaça, pode causar uma elevação na concentração de sais no solo e potencial risco de salinização do solo (Lyra *et al.* 2003).

Nas amostras de solo provenientes da sondagem ST-01 localizada no interior do antigo tanque de vinhaça foi detectada um aumento da porcentagem de K_2O e MgO com o avanço da profundidade provavelmente decorrente da intensa lixiviação com o aporte de vinhaça. Resultados semelhantes foram encontrados por Nunes *et al*. 1981, Orlando Filho *et al.* 1983, Camargo *et al.* 1987, Cardoso 1988 e Hassuda 1989. Porém os autores observaram um aumento significativo nas concentrações de Ca com o aumento da profundidade, e os resultados obtidos neste estudo indicam uma redução das concentrações de Ca com o aumento da profundidade, assim como obtido por Coelho (1991) que realizou tratamento com aplicação de vinhaça em área com latossolo vermelho-escuro. Uma das hipóteses para a diferença nos resultados pode estar relacionada á profundidade de coleta das amostras de solo em relação aos outros trabalhos realizados, uma vez que a profundidade avaliada na maioria dos trabalhos aborda a profundidade agriculturável. Mesmo os trabalhos que abordam maiores profundidades, as mesmas são da ordem de 5,00 metros.

Nas amostras de solo provenientes da sondagem ST-06 foi detectado o aumento das concentrações de K com o aumento da profundidade de coleta das amostras, porém a correlação do referido elemento com a profundidade foi maior no conjunto de amostras pertencente à sondagem ST-01 localizada no interior do tanque de vinhaça. Ressalta-se que as concentrações de K na sondagem ST-01 foram superiores do que na sondagem ST-06.

Brito *et al.* (2007) realizaram em ensaios de coluna em 3 tipos de solo (Nitossolo, Argissolo e Espodossolo), e apesar de haverem diferenças nos lixiviados, em todos os solos

houve aumento de concentração de potássio e diminuição de sódio. O resultado de K corrobora com as concentrações obtidas nas sondagens ST-01 e ST-06, uma vez que as concentrações de K foram superiores na sondagem ST-01 em relação à sondagem ST-06. O Na apresentou maior concentração nas amostras pertencentes a ST-01 em comparação com ST-06.

Nas amostras de solo provenientes da sondagem ST-01, nota-se que o Al decresce com a profundidade, o que pode estar associado à complexação com os componentes orgânicos da vinhaça (na forma coloidal) como também a neutralização do cátion Hidrogênio do solo pelas cargas negativas de grupos funcionais da matéria orgânica (Camargo *et al.* 1983; Cardoso 1988, Mazza 1985, Nunes *et al.* 1981, Ribeiro e Sengik 1983, Santos *et al.* 1981).

Barros (2009) avaliou duas áreas com e sem aplicação de vinhaça em um Vertissolo e concluiu que as maiores concentrações de Ca, Mg, Na, K, P e Fe e as menores concentrações de Cu, Mn e Zn nas amostras da área A (com aplicação de vinhaça) foram significativas e atribuídas à aplicação deste efluente. Estes resultados são semelhantes ao encontrado nas amostras ST-01 (interior do tanque de vinhaça) e ST-06 (background).

A propriedade de perda ao fogo fornece informações sobre a quantidade de água de constituição e/ou matéria orgânica existente no solo. De acordo com Souza Santos (1975), além das perdas já citadas, perde-se também a água de hidroxilas dos argilominerais e também de hidróxidos como o $Al(OH)_3$ e o $Fe(OH)_3$ assim como sulfetos, sulfatos e carbonatos quando presentes.

De acordo com Hassuda (1989), a infiltração de vinhaça aumenta o pH, que de ácido vai se tornando neutro a medida que os íons hidrogênio e Al que se encontram adsorvidos são deslocados pelas bases principais (K, Ca, Mg e Na) presentes na vinhaça.

O comportamento de Al na sondagem ST-01 (decrescente com a profundidade) pode estar associado à complexação com os componentes orgânicos da vinhaça (na forma coloidal) como também a neutralização do cátion Hidrogênio do solo pelas cargas negativas de grupos funcionais da matéria orgânica (Camargo et al. 1983; Cardoso 1988; Mazza 1985; Nunes et al. 1981; Ribeiro e Sengik 1983; Santos et al. 1981). Ainda, a precipitação de Alumínio pode ser causada por processos microbiológicos de redução, quando o pH elevaria a mais de 5,5m.

Os resultados obtidos na sondagem ST-01 indica o decréscimo das porcentagens de perda ao fogo com o aumento da profundidade que pode ser explicado pela atuação do processo de intemperismo que ocorre de forma mais lenta em maiores profundidades. Segundo Abreu

(2008), a perda ao fogo é um dos parâmetros que apresentam alta correlação com o grau de intemperismo do solo, e de uma maneira geral, a taxa de perda ao fogo tende a diminuir com o aumento da profundidade.

Em comparação com as legislações ambientais vigentes (CONAMA nº 420/2009) as concentrações dos elementos analisados nas amostras de solo encontram-se abaixo dos níveis que apresentam riscos à saúde humana.

Os estudos relativos ao comportamento de elementos químicos em solos contaminados por vinhaça geralmente focam o solo agriculturável, ou seja, profundidades inferiores a um metro.

7.2 Ensaios de Lixiviação

Os resultados dos lixiviados apresentam comportamentos muito significativos, uma vez que permitiram identificar os elementos prontamente solúveis e seus comportamentos ao longo do perfil de alteração.

Os resultados dos ensaios de lixiviação indicaram que os elementos Al, Fe, Mn, Mg, K, Na e Ca apresentaram as maiores concentrações nas amostras localizadas interior do tanque de vinhaça, em comparação com as concentrações dos mesmos elementos nas amostras da área sem a disposição deste efluente. As concentrações médias destes elementos significativamente maiores na sondagem ST-01, corrobora com a hipótese de que há um aumento da salinização do solo pela aplicação de vinhaça ao longo dos anos.

Os resultados de pH e condutividade elétrica dos lixiviados das amostras de solo indicam que houve uma diferença entre o pH e a condutividade obtidos nas amostras dos lixiviados com e sem vinhaça. Nas amostras do interior do tanque de vinhaça o pH entre 1 e 4 metros apresentam-se inferiores a 6,0 e com o aumento da profundidade os valores estabilizam-se entre 6,5 e 7,5, enquanto que as amostras de controle apresentaram pH elevado nas amostras superficiais, e no geral foram inferiores aos valores obtidos nas amostras provenientes da área de controle. Segundo Nunes *et al.* (1981), a elevação do pH nas amostras coletadas no interior do tanque pode estar relacionada à introdução de cátions básicos pela vinhaça, decréscimo do potencial de oxirredução, causando a redução dos óxidos, hidróxidos ou hidróxidos de ferro e manganês, e por fim a atividade microbiológica.

O parâmetro condutividade elétrica está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. A diferença entre a condutividade elétrica monitorada nas amostras coletadas no interior do tanque foram 1.000 vezes mais elevadas do que os resultados obtidos nas amostras de controle. Esta diferença pode indicar a salinização dos solos coletados na sondagem ST-01 localizada no interior do tanque de vinhaça.

Ambos os resultados corroboram com Ludovice (1997) que avaliou o efeito poluente da vinhaça através da infiltração do efluente em canal condutor sem impermeabilização em profundidades de até 1,50 metros e verificou que houve alterações de pH da solução lixiviada e condutividade elétrica em solo areno-siltoso nestes canais condutores.

No presente estudo, a relação pH e Eh indica uma modificação de ambientes ao longo do perfil da sondagem ST-01, oxidante até a profundidade aproximada de 7 metros e com características redutoras até 24 metros, observada também pela mudança de coloração do material de alteração coletado. Essas características podem estar associadas ao volume de vinhaça disposto no período de funcionamento do tanque, que pode ter causado o aumento do nível d'água para profundidades em torno de 11,00 metros, criando um ambiente oxidante na zona não saturada, e redutor na zona saturada devido ao grande volume de matéria orgânica lixiviada para a água subterrânea. De acordo com Alexander (1967), as condições redutoras resultantes da decomposição de matéria orgânica ocorrem também em solos que se apresentam encharcados, devido a uma analogia nos processos bioquímicos, que caracterizam solos anaeróbicos resultantes de encharcamento ou da adição de efluentes orgânicos com DBO elevada, como é o caso da vinhaça.

As concentrações dos elementos químicos, como Cr, Co, Ni, Sr, Sn, Pb, Li, Sc, Ti, Cu, Zn, Ga, Bi e Ce decrescem ao longo do perfil, bem como elementos de maior concentração como Nitrato e Sulfato. Os elementos Cr, Co, Ni, Sr, Sn, Pb, Li, Sc, Ti,Cu, Zn, Ga, Bi e Ce são adsorvidos nas profundidades mais rasas pela presença de matéria orgânica e podem ser lixiviados para a solução devido a acidez da vinhaça que é infiltrada (que possui pH ácido).

7.3 Análises microbiológicas (fungos e leveduras)

O solo possui uma organização heterogênea e diversa em relação a seus componentes orgânicos e inorgânicos, profundidade e classes. Características como concentração de nutrientes, sais, disponibilidade de água, temperatura, quantidade de matéria orgânica, populações de microorganismos podem variar tanto em pequena como em grande escala (Ribeiro 2009) A capacidade dos fungos em adaptar seu metabolismo a diferentes fontes de carbono é essencial para a sua sobrevivência. A flexibilidade metabólica e o fato de possuírem hifas que penetram no substrato alcançando mais facilmente os nutrientes fazem dos fungos os decompositores mais eficientes e adaptados da natureza. (Silva e Esposito 2004).

Os isolamentos de fungos e leveduras nas sondagens ST-01 e ST-06 com predominância de fungos filamentosos acompanharam os perfis de isolamento de espécies representativas na maioria dos tipos de solo. A divisão dos Deuteromycotina com os gêneros Aspergillus, Penicillium, Fusarium, Trichoderma, Stachybotriys, Epicoccum ocorrem com frequência, assim como os gêneros Mucor e Rhyzopus dentro da divisão dos Zigomycetos. (Maccheroni Jr *et al.* 2004).

Em trabalho recente realizado na India em campo de plantio de cana-de-açúcar foram isolados de amostras de solo 37 espécies de fungos sendo que a maioria das espécies (35) pertenciam a Divisão Deuteromycotina, com os gêneros Aspergillus, Penicillium, Trichoderma, Fusarium e Gliocadium (Prince e Prabakaran 2012). Estudos realizados com adição de vinhaça em solos demonstraram que esse efluente estimula a microbiota com aumentos das populações de fungos filamentosos dos gêneros Aspergillus e Penicillium (Neves *et al.* 1983). A adição de doses acumuladas de vinhaça acarretou um acréscimo dos números de fungos filamentosos, bactérias e actinomicetos em solos sob vegetação de cerrado (Costa 1983, Tauk e Ruegger1987)

A quantidade de leveduras no solo é mais baixa, na ordem de 10^3 a 10^4 células por grama de solo e em alguns casos podem ser encontradas em até 10^6 células/g. A estrutura das populações de leveduras no solo indica que nesse ambiente há o predomínio de poucas espécies, enquanto nas superfícies de plantas a dominância está distribuída em maior número de espécies. Leveduras do gênero Cryptococcus, isoladas 60% na área ST-01 e 48,57% na área ST-06, são adaptadas a viver em superfícies de minerais e possuem cápsulas que auxiliam nas trocas de água e de nutrientes em épocas de escassez (Ribeiro 2009). Levantamentos ecológicos na literatura

indicam espécies dos gêneros Cryptococcus, Candida, Rhodotorula, Trichosporon, Debaryomyces, Sporobolomyces e Saccharomyces como as mais isoladas (Kurtzman e Fell 1998).

A área ST-06 apresentou uma população fúngica maior em número de unidades formadoras de colônias e de espécies isoladas, característicos de solos ativos com disponibilidade de nutrientes. A espécie Saccharomyces cerevisae foi isolada em 31,43% das amostras de solo. Segundo Bab'vera e Chernov (1995) espécies do grupo de leveduras ascomicéticas fermentadoras, como Saccharomyces, são característicos de frutos maduros, flores, tecidos de plantas suculentas necrosadas com oferta de açúcares simples e água. A população de leveduras no solo normalmente apresentam características da superfície vegetal introduzida no solo pelo material em decomposição. A sondagem ST-06 estava localizada em uma área com antigo plantio de cana-de-açúcar e atualmente havia o plantio de árvores frutíferas, o que corrobora com os estudos realizados por Bab'vera e Chernov (1995).

As menores contagens de unidades formadoras de colônias observadas no solo ST-01 pode ser decorrente da escassez de nutrientes no solo que pode contribuir para o fenômeno descrito na natureza como dormência de fungos e o efeito inibitório sobre a germinação de esporos. A competição pelo substrato entre os diferentes microrganismos presentes (bactérias, fungos e leveduras) provocam a rápida utilização de nutrientes e a provável produção de compostos inibidores da germinação (Maccheroni Jr 2004). A sondagem ST-01 está localizada no interior do tanque de vinhaça, onde há vegetação escassa em virtude dos vários anos de disposição de vinhaça, que conforme (Corazza 2006) faz com que a área torne-se inutilizável para agricultura.

8 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos dos ensaios nas amostras de solo pode-se concluir que:

- O solo da área do tanque onde houve a disposição inadequada de vinhaça durante décadas ainda apresenta os efeitos desta disposição interferindo nas propriedades químicas e microbiológicas do solo, mesmo após 8 anos do encerramento das atividades da usina;
- As análises indicam que as amostras de solo coletadas no interior do tanque de vinhaça apresentaram concentrações inferiores de unidades formadoras de colônia em comparação com as amostras de solo coletadas na área de background que indica que há um impacto na população microbiológica pela disposição inadequada de vinhaça;
- As concentrações CaO, Na_2O, K_2O e P_2O_5 significativamente superiores à área de controle, indicam a salinização do solo no interior do tanque de vinhaça;
- As concentrações de Al, Fe, Mn, Mg, K, Na e Ca nos lixiviados mostrou-se mais elevadas na área de disposição de vinhaça, indicando a possibilidade de aporte destes elementos para a água subterrânea causando a sua contaminação;

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexander, M. Introdution to Soil Microbiology. 4. ed. New York: Jonh Wiley, 1967. 472p.

Almeida, F. F. M. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóicono Brasil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 325-349, 1986.

Arx, J. A. Von. The genera of fungi sporulating in pure culture. 2.ed. Vanduz: J. Cramer, 1974. 351p.

Assine, M. L., Piranha, J. M., Carneiro, C. D. R. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: Mantesso Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D. R., Brito Neves B.B. (org.). Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 77-92.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15495-1 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção, 2007. 25p.

American Society for Testing and Materials. Test method for particle-size analysis of soils. Standard D, p. 422-98, 1998.

Bab´eva, T P., Chernov, I. Y. Geographical aspects of yeast ecology. Physiol. Gen. Biol. Rev. v.9, p.1-54, 1995.

Barnett, J.A., Payne, R.W., Yarrow, D. Yeast: characteristics and identification. Cambridge University Press, Cambridge, p.1139, 2000.

Barros, P. B. et al. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. Pesq. Agropec. Trop. Goiânia, v. 40, n. 3, p. 341-346, jul./set, 2009.

Braile, P. M., Cavalcanti, J. E. W. A. Manual de tratamento de águas residuais industriais. Usinas de Açúcar e Álcool. São Paulo: CETESB, Cap.9, 175-218 p. 1979.

Brito, F.L.; Rolim, M.M.; Silva, J.A.A. da; Pedrosa, E.M.R. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempos de incubação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, p. 318-323, 2007.

Busta, F. F., Petterson, E. A., Addam, D. M. Colony count methods. In: SPECK, M.L. (ed). Compendium of methods for the microbiological examination of foods, 1984, 314p.

Caetano-Chang, M. R., Wu, F. T. As formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, 1995, São Pedro. Livro de Resumos... São Pedro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1995, p. 64.

Camargo, O. A., Valadares, J. M. A. S., Berton, R. S., Teófilo Sobrinho, J., Menk, J. R. F. Alteração das características químicas de um Latossolo Vermelho- Escuro Distrófico pela aplicação de vinhaça. Bol. Cient. Inst. Agron. Campinas, n. 9. p.1-23, 1987.

Camargo, O. A., Valadares, J. M. A. S., Geraldi, R. N. 1983. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Boletim do Instituto Agronômico, 1983, 30p.

Cambuim, F. A. A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso.1983. 133p. Dissertação mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: UFRPE, 1983.

Cardoso, A. N. Influência da aplicação de vinhaça em propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico fase cerrado. 1988. 73p. Dissertação mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil,1988.

Coelho, R. M. Influência da vinhaça, da fertilização mineral e do cultivo em características químicas da matéria orgânica e da fração mineral de um Latossolo Vermelho-Escuro. 1991. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, 1991.

Coelho, M. B., Azevedo, H. J. Utilização da vinhaça na irrigação da cana-de-açúcar. STAB, v.4, n.95, p.49-52,1986.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. Programa CETESB/GTZ. São Paulo, 1999.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 3.12.2005, 115 (227). p. 22-23. Retificação 13.12.2005, 115(233) p.42, 2005.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo. P4. 231. 12p, 2006.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2012. Consulta no site www.cetesb.sp.gov.br

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n.420/2009. Disponível em http://www.mma.gov.br/porte/conama/legiabre.cfm.htm

Corazza, R. I. 2006. Impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e lock-in na fertirrigação. In: XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. Sessão em debate. Fortaleza, Ceará, 2006.

Cortez, L. A. B. ; Larson, D. L. . Environmental Aspects Of The Alcohol Program In Brazil. In: The 1998 ASAE Annual International Meeting, 1998. Paper #98-6090. Orlando, EUA.

Costa, S. M. G. Efeito da adição de vinhaça na dinâmica de microflora de solo de cerrado de Corumbateí, SP. 129p Dissertação Mestrado em Biologia Vegetal-Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Estadual Paulista, Reio Claro, 1983.

Cruz, J. I. Detecção da influência da vinhaça na resistividade do solo através da análise de dados geofísicos: Um estudo de caso no assentamento Sepe Tiarajú- Serrana – SP. IG-UNICAMP, Dissertação de mestrado, p.165, 2008.

Departamento de Águas e Energia Elétrica/Instituto Geológico/Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo/Serviço Geológico do Brasil. Coordenação Geral: Gerôncio Rocha. 2005. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000: nota explicativa. DAEE/IG/IPT/CPRM, São Paulo, Brasil.

Departamento de Águas e Energia. IGC Instituto Geográfico e Cartográfico. 2003. Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHI. São Paulo: DAEE/ IGC, 2003. 1 mapa

Departamento de Aguas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE). 1982. Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa 4. Sorocaba. DAEE, São Paulo, 2 v.

Dick, R. P. Soil enzyme assays as indicators of soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D. F., Stewart, B. A., Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, Soil Sci. Soc. Am. Special Publication n.35. Soil Science Society of America, Madison, WI, p.107-124, 1994.

Elia Neto, A. Biodigestão da vinhaça com reator anaeróbio de manta de lodo. São Carlos, EESC/USP, 1988. 30p.

Elsas, J. D. V., Trevors, J. T., Wellington, E. M. H. Modern soil microbiology. Marcel Dekker, New york. 1997. 682p.

Freire, W. J., Cortez, L. A. B. Vinhaça de cana-de-açúcar. ed. Agropecuária, Guaíba, 2000. 203p.

Giachini, C. F., Ferraz, V. M. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar– revisão de literatura. Revista Científica Eletrônica de Agronomia. Ano VII, n. 15, 2009. www.revista.inf.br

Gloeden, E.; Cunha, R. C. A.; Fraccarolli, M. J. B.; Cleary, R.W. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu Aquifer recharge área. Wat. Sci. Tech. v. 24, n. 11, p. 147-157, 1991.

Glória, N., Orlando Filho, J. Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. R. Álcool Açúcar, 16:32-39, 1984.

Gonçalves, S. J., Souza, S. A. M. Do mar de café ao mar de cana ou ainda um mar de braquiária: os movimentos econômicos da agropecuária. In SOBER 47ª Congresso Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural, Porto Alegre, 26 a 39 de julho, p.1-19, 2009.

Graciano, W. P. Delineamento das condições biológicas e físico-químicas para biodigestão de vinhaça. Universidade de Ribeirão Preto. Tecnologia Ambiental, 2010. Dissertação (Mestrado). 47p.

Hageman, P.L., Briggs, P. H., 2000. A simple field leach for rapid screening and qualitative characterization of mine waste material on abandoned mine lands, in ICARD 2000, Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage, Denver, Colorado, May 21–24, 2000: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc., p. 1463–1475.

Hassuda, S. 1989. Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru. Dissertação de Mestrado. IGC-USP. 92pp.

Instituto Geológico; Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, IG/CETESB/DAEE, apoio PROCOP. 1v. (texto), 1 v. (mapas).

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo; escala 1: 500.000, v.1 (texto) e v.2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia.

Kurtzman, C. P., FelL, C. P. The yeast, a Taxonomic Study. 4 ed, Elsevier Science, 1998. p.1055.

Landim, P. M. B., Soares, P. C., Gama-Jr, E. G. Estratigrafia do Nordeste da Bacia do Rio Paraná. Curso de especialização: Convênio IPT/UNESP. Rio Claro/SP. 69 p, 1980.

Larrahondo, J. E., Morales, A. A., Victoria, M. H., Jamarillo, A. In: Carta-Trimestral – CENICANA,v. 22, n. 3, p. 5-6, 2000.

Ludovice, M. T. F. 1997. Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil – Unicamp.p. 117, 1997.

Lyra, M. R. C. C. et al. 2003. Avaliação da Qualidade de Água de Lençol Freático em uma Área Fertirrigada com Vinhaça. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, Santa Catarina, 2003.

Maccheroni JR, W., Araujo, W. L., Silva, A. O. S. Ecologia: habitat e interações fúngicas com plantas, animais, fungos e bactérias. In: Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia, Caxias do Sul: Educs, 2004. p. 452-490.

Marques, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V., PINTO, A. S., JENDIROBA, E., NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Editoral p.369-375, 2006.

Mazza, J. A. Variações em algumas propriedades de solos com cana-de-açúcar (Saccharum spp), tratados com doses maciças de vinhaça. Piracicaba, São Paulo, Brasil. 1985. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1985.

Meurer, E. J., Bissani, C. A., Selbach, P. A. Poluentes do solo e do ambiente. In: Meurer, E. J. (ed.). Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Genesis, 2000, v.1, p.151-168.

Milani , E. J. 1997. Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Ocidental. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre. V.1 texto. V.2 Anexos.

Mortatti, B. C. 2010. Caracterização físico-química dos solos e comportamento dos contaminantes da vinhaça por processo de difusão. Trabalho de Conclusão de Curso. UNICAMP. IGE. 76p.

Murakami, A. E., Moraes, V. M. B., ArikI, J. Levedura de vinhaça (Saccharomyces cerevisiae) como fonte protéica na alimentação de frangos de corte. 1993. Rev. Soc. Bras. Zoot. Viçosa, v. 22, n. 5, p. 876-883, 1993.

Nelson, P. E., Tousson, T. A., Marasas, W. F. O. 1983. Fusarium Species: an Illustrated Manual for Identification. Philadelphia, University Press, 193p.

Neufeld, P. M. 1999. Manual de Micologia Médica: técnicas básicas de diagnóstico. Rio de Janeiro: ed. Programa Nacional de Controle de Qualidade, p.240.

Neves, M. C .P., Lima, I. T., Dobereiner, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, n.2, p.131-136, 1983.

Nunes, M. R., Velloso, A. C. X., Leal, J. R. Efeito da Vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. Pesq. Agropec. Bras. Brasília, Brasil, v.16, n. 2, p. 171-176, 1981.

Oliveira, J. B., Prado, H. Levantamento pedológico semi detalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Ribeirão Preto. Campinas: Instituto Agronômico, 133p. (Boletim Científico, 7), 1987.

Orlando Filho, J., Zambello JR. E., Agujard, R. , Rossetto, A. J. Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar. Estudo exploratório. STAB-Açúcar Álcool e Subprodutos. Piracicaba, São Paulo, Brasil, v. 1, p. 28-33, 1983.

Peate, D. W., Hawkesworth, C. J. , Mantovani, M. S. M. Chemical Stratigraphy of the Paraná Lavas (South America): Classification of Magma Types and their Spatial Distribution. Bulletim of Volcanology, vol. 55: 119-139, 1992.

Prada, S. M., Guekezian, M., Suàrez-iga, M. E. V.1998. Metodologia analítica para a determinação de sulfato de vinhoto. Química Nova, São Paulo, v.21, n.3, p.249-252.

Prince, L., Prabakaran, P. Studies on the soil mycoflora from sugar cane field in Thanjavur District Tamilnadu. J. Microbiol. Biotech. Res., 2 (1): 63-69 2012

Raper, K. B., Fennell, D. I. The Genus Aspergillus. Baltimore: Williams & Wilkins Company, 1965, p.686.

Rezende, J. O. 1984. Vinhaça: Outra grande ameaça ao meio ambiente. UFBA. 1984. Revista Magistra, Vol. 1.

Resende, M., Curi, N., Rezende, S. B., Corrêa, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes, 4.ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p

Ribeiro

Ribeiro, A. C., Sengik, E. Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas e químicas de duas amostras de latossolos. Revista Ceres, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, v. 30, p.25-31, 1983.

Ridell, R. W. 1950. Permanent stained mycological preparation obtained by slide culture. Mycologia 42: 265-270.

Rossetto, A. J. . Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504, 1987.

Santos, T. M. C., Santos, M. A. L., Santos, C. G., Santos, V. R., Pacheco, D. S. Efeito da fertirrigação com vinhaça nos microrganismos do solo. Revista caatinga, v.22, n.1, p.155-160, 2009.

Santos, G.A., Rossielo, R. O. P., Fernandes, M. S., O´Grady, P. C. Efeitos da vinhaça sobre o pH do solo, e germinação e o acúmulo de potássio em milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, Brasil, v. 16, p. 489-493, 1981.

Seabra, J. E. 2008. Análise de opções tecnológicas para o uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações. Dissertação de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas.

Schneider, R. L., Muhlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R. A., Daemon, R. A., Nogueira, A. A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 41-65.

Sidrim J. J. C., Rocha, M. F. G. 2004. Micologia Médica à luz de autores contemporâneos. Rio de Janeiro: Guanaba Koogan p. 135-161.

Silva, F. P., Kiang, C. H., Caetano-Chang, M. R., Sinelli, O. 2008. Arcabouço geológico e hidrofácies do Sistema Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto (SP). Revista Brasileira de Geociências, v.38, n.1, p.54-65.

Silva, V.L.M.M., Gomes, W.C., Alsina, O.L.S. Utilização do bagaço de cana de açúcar copmo biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. Revista eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande, v.2, p.27-32, 2007.

Silva, M., Esposito, E. O papel dos fungos na recuperação ambiental., In: Fungos: uma introdução a biologia, bioquímica e biotecnologia. Esposito, E.; Azevedo, J.L., Caxias do Sul, Educs, 2004.p.338-375

Silva, A. J. N., Ribeiro, M. R. 1998. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, n.2, p.291-299.

Silveira, A. P. D., Freitas, S. S. 2007. Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental. Instituto Agronômico de Campinas. 312 p.

Soares P. C. Divisão estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências,v.5, p. 229-251, 1975.

Soares P.C., Sinelli O., Penalva F., Wernick E., Souza A., Castro P. R. M. 1973. Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27, Aracaju, Anais, v.1, p. 209-236, 1973.

Souza Santos, P. Ciência e tecnologia das argilas. 2.ed, EDUSP, v.1 , 1975, p.500.

Stevenson, F. J. Cycles of sil-carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur micronutrientes. In: Tan, K.H. (Ed.). Principles of soil chemistry. 2.ed. New York:Marcell Dekker, 1986, 362p.

Swanson, K. M., Busta, F. F., Petterson, E. H., Johnson, M. G. 1992. Colony Count methods. In: Compendium of Methods for the Microbiological Examination of foods; Vanderzant, C., Splittoesser, D. S., Eds.; American Public Health Association: New York.

Tauk, S. M., Ruegger, M. J. S. Alguns aspectos da microbiota de solo sob vegetação de cerrado tratado com vinhaça no município de Corumbateí, SP. Rev Microbiol., v.18, p.67-

União da Indústria de Cana-de-açúcar. ÚNICA, 2009. Site www. Acessado em 02/10/2009.

Vezzani, F. M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola, Porto Alegre, , doutorado em ciências do solo – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, p.144

Vieira, D. B. Fertirrigação sistemática da cana-de-açúcar com vinhaça. Álcool e Açúcar, v.6, n.28, p.26-30, 1986.

Zambello, F. R., Enzweiler, J. Multi-element analysis of soils and sediments by wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry, J. Soils Sediments 2, p. 29–36, 2002.

Yarrow, D. 1998. Methods for the isolation and identification of yeasts. In: Kurtzman,C.P.; FELL, J.W. The yeasts, a taxonomic study. Amsterdam: Elsevier, 1998. p.77-100.