

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**LIXIVIAÇÃO DO METAL PESADO CROMO A PARTIR DE APARAS
DE COUROS ACABADOS, SEMI-ACABADOS E “WET BLUE”,
DISPOSTOS EM LISÍMETROS E CÉLULAS DE ATERROS
SANITÁRIOS**

BEATRIZ STOLL MORAES

*Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como
requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.*

Porto Alegre, Abril de 1999.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. Francisco Ricardo Andrade Bidone, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS:

Agradeço a todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste trabalho. De maneira especial, gostaria de agradecer:

- ao Prof. Francisco Bidone, pela sua orientação e total compreensão demonstrada durante o período de realização deste mestrado;

- aos técnicos do Laboratório de Solos do Departamento de Agronomia desta Universidade, em especial a Luis Antônio;

- aos estagiários, sempre presentes e dispostos à colaborar, independente do grau de dificuldade da tarefa;

- aos colegas do curso, que me apoiaram e me incentivaram a atingir a meta almejada, em especial aos colegas Ana Paula da Silva e Flávio Tröger;

- ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos que viabilizou o meu programa de mestrado.

Em especial gostaria de agradecer à três pessoas que foram fundamentais nesta jornada:

- ao meu pai, Dr. Daniel Moraes (*in memoriam*), que semeou a idéia da minha participação no Programa de Pós-Graduação deste Instituto, com o desenvolvimento de um tema relacionado à área curtumeira;

- ao meu irmão, Dr. Renan Moraes, sempre presente com uma dose de amor, carinho e compreensão demonstrada em todos os momentos de angústia;

- e ao meu companheiro, Rogerio Borges, pela prova incansável de amor e solidariedade demonstrada, tanto nos momentos de alegria como nos de tristeza.

RESUMO

No presente trabalho, estudou-se as características físico-químicas dos percolados gerados a partir da aplicação sistemática de água sobre aparas de couros acabados e semi-acabados e serragens de couro “wet blue”, dispostos em lisímetros e codispostos com matéria orgânica em células de aterros sanitários, bem como a lixiviação do metal cromo dos resíduos quando submetidos à condições extremas de pH e temperatura.

O trabalho foi dividido em três etapas distintas:

- 1ª Etapa) foram construídos lisímetros que simularam a situação de disposição dos resíduos sólidos estudados de forma tecnicamente inadequada como nos “lixões”. Esses resíduos, em contato com a água da chuva geram um efluente (percolado) com características fora do padrão de emissão para despejos em rios. Esta etapa ainda foi subdividida em três fases: na Fase 1, aplicou-se sobre os resíduos água destilada a pH 6,7; nas demais (Fases 2 e 3), utilizou-se água destilada acidulada a pH 3,0;
- 2ª Etapa) foram montados “aquários” para a realização dos estudos complementares com relação a solubilização do metal cromo presente nas aparas e serragens, frente a condições agressivas de pH e temperatura;
- 3ª Etapa) foram construídas duas células piloto de aterro sanitário preenchidas com o resíduo industrial e matéria orgânica (sobras dos restaurantes universitários) na proporção de 1:1 em volume. Na 1ª Célula, o líquido percolado foi gerado pela precipitação natural, enquanto que na 2ª, o percolado foi gerado pela rega com água potável em volumes iguais à precipitação média anual da cidade de Porto Alegre-RS.

Os resultados obtidos nas três etapas mostraram que:

- nos ensaios com lisímetros, os valores de concentração de metais, principalmente o cromo, diminuíram à níveis próximos ao exigido pela Legislação do Estado (portaria nº 5 da SSMA), com exceção para o lisímetro contendo serragem de couro “wet blue”, que durante a rega ácida lixiviou uma maior quantidade de cromo;

- os ensaios realizados nos “aquários” mostraram que quanto menor o pH (à temperatura constante), maior a quantidade de cromo solubilizada das aparas, com exceção para os couros pretos, que em pH 3,0 perdeu uma maior quantidade de cromo que em pH 2,5.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. Francisco Ricardo Andrade Bidone, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS:

Agradeço a todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste trabalho. De maneira especial, gostaria de agradecer:

- ao Prof. Francisco Bidone, pela sua orientação e total compreensão demonstrada durante o período de realização deste mestrado;
- aos técnicos do Laboratório de Solos do Departamento de Agronomia desta Universidade, em especial a Luis Antônio;
- aos estagiários, sempre presentes e dispostos à colaborar, independente do grau de dificuldade da tarefa;
- aos colegas do curso, que me apoiaram e me incentivaram a atingir a meta almejada, em especial aos colegas Ana Paula da Silva e Flávio Tröger;
- ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos que viabilizou o meu programa de mestrado.

Em especial gostaria de agradecer à três pessoas que foram fundamentais nesta jornada:

- ao meu pai, Dr. Daniel Moraes (*in memoriam*), que semeou a idéia da minha participação no Programa de Pós-Graduação deste Instituto, com o desenvolvimento de um tema relacionado à área curtumeira;
- ao meu irmão, Dr. Renan Moraes, sempre presente com uma dose de amor, carinho e compreensão demonstrada em todos os momentos de angústia;
- e ao meu companheiro, Rogerio Borges, pela prova incansável de amor e solidariedade demonstrada, tanto nos momentos de alegria como nos de tristeza.

RESUMO

No presente trabalho, estudou-se as características físico-químicas dos percolados gerados a partir da aplicação sistemática de água sobre aparas de couros acabados e semi-acabados e serragens de couro “wet blue”, dispostos em lisímetros e codispostos com matéria orgânica em células de aterros sanitários, bem como a lixiviação do metal cromo dos resíduos quando submetidos às condições extremas de pH e temperatura.

O trabalho foi dividido em três etapas distintas:

- 1ª Etapa) foram construídos lisímetros que simularam a situação de disposição dos resíduos sólidos estudados de forma tecnicamente inadequada como nos “lixões”. Esses resíduos, em contato com a água da chuva geram um efluente (percolado) com características fora do padrão de emissão para despejos em rios. Esta etapa ainda foi subdividida em três fases: na Fase 1, aplicou-se sobre os resíduos água destilada a pH 6,7; nas demais (Fases 2 e 3), utilizou-se água destilada acidulada a pH 3,0;
- 2ª Etapa) foram montados “aquários” para a realização dos estudos complementares com relação à solubilização do metal cromo presente nas aparas e serragens, frente a condições agressivas de pH e temperatura;
- 3ª Etapa) foram construídas duas células piloto de aterro sanitário preenchidas com o resíduo industrial e matéria orgânica (sobras dos restaurantes universitários) na proporção de 1:1 em volume. Na 1ª Célula, o líquido percolado foi gerado pela precipitação natural, enquanto que na 2ª, o percolado foi gerado pela rega com água potável em volumes iguais à precipitação média anual da cidade de Porto Alegre-RS.

Os resultados obtidos nas três etapas mostraram que:

- nos ensaios com lisímetros, os valores de concentração de metais, principalmente o cromo, diminuíram à níveis próximos ao exigido pela Legislação do Estado (portaria nº 5 da SSMA), com exceção para o lisímetro contendo serragem de couro “wet blue”, que durante a rega ácida lixiviou uma maior quantidade de cromo;

- os ensaios realizados nos “aquários” mostraram que quanto menor o pH (à temperatura constante), maior a quantidade de cromo solubilizada das aparas, com exceção para os couros pretos, que em pH 3,0 perdeu uma maior quantidade de cromo que em pH 2,5.

A pH 2,0 constante e temperatura variável, para o “wet blue”, quanto maior a temperatura, maior a lixiviação do metal cromo;

- na célula que foi exposta à intempérie (Célula 1), houve indícios de que o processo anaeróbio desenvolveu-se satisfatoriamente. Diminuíram bruscamente as cargas de cromo lixiviados, atribuindo-se isto a um possível efeito atenuados ocasionado pela presença da matéria orgânica. Na célula em que foi simulada a precipitação pluviométrica sobre a mistura em codisposição (Célula 2), o excesso de volume d'água prejudicou o desenvolvimento do processo anaeróbio (“lavagem”) da célula, dificultando a comprovação dos resultados observados na Célula 1.

Os resultados finais comprovam os riscos de contaminação quando os resíduos industriais em questão são dispostos em locais tecnicamente inadequados (“lixões”) e a possibilidade de se tratar os mesmos em aterros sanitários utilizando-se a codisposição com a matéria orgânica.

ABSTRACT

In the present study we have looked at the physico-chemical characteristics of leachate liquid generated from the systematic watering of finished and semi-finished leftover leather and leather sawdust (“wet blue”), which were placed in lisimeters and mixed with organic material in landfill cells. We have also looked at the extraction of Chromium from residue when it is submitted to extreme pH and temperature conditions.

This study was divided into three different stages:

- ◆ 1st stage: lisimeters were built which simulated the exact same conditions of the studied solid residue which had technically been disposed inadequately, as is the case in the land disposal. This residue, in contact with rainfall generates a percolate liquid (leachate) with characteristics outside the pattern of emission and, therefore, unfit to be spilt into rivers. This phase was subdivided into three other stages: in the first stage, distilled water, with a pH level of 6,7, was poured over the residue; in the remaining stages (second and third stages), distilled water, at an acid level of 3,0, was utilized;
- ◆ 2nd stage: “aquariums” were built for additional studies to observe the process of Chromium extraction, since this metal is always present when left over leather and sawdust is submitted to extreme pH and temperature conditions;
- ◆ 3rd stage: two landfill cells were built and filled with industrial residue and organic material (food scraps) at a proportion of 1:1 in terms of volume. In the first cell, the leachate was generated by natural rainfall precipitation whereas in the second cell, the leachate was generated by the watering with drinkable water in the same amounts of the average annual rainfall in Porto Alegre, RS.

The results in the three stages demonstrate the following:

- in the experiments with the lisimeters, the figures of metal concentration, mainly of Chromium, are shown to have diminished to levels that are almost acceptable in Rio Grande do Sul State Legislation (Government Edict # 5 of SSMA), with the exception of the lisimeter containing wet blue leather sawdust, which, during the period of watering, extracted a larger amount of Chromium;
- the experiments with the aquariums show that the lower the pH level (at a steady temperature), the larger the quantity of Chromium extraction from left over leather, with the exception of black leather, which, at a pH level of 3,0, shows a higher loss of

Chromium than at a pH level of 2,5. In the case of a steady pH level of 2,0 with variable temperatures, it was found that, with the wet blue, the higher the temperature, the greater the extraction of Chromium;

- in the cells exposed to inclement weather conditions (Cell 1), the anaerobic process has developed satisfactorily. The charges of Chromium extraction have diminished brusquely , this being attributed, possibly, to the fact that the Chromium might have been attenuating by the organic material there present. In the cell where a rainfall precipitation was simulated over the mixture (Cell 2), the excess water hindered the development of the anaerobic process (solids washing), making it more difficult to test the results observed in the Cell 1.
- The final results have proven that there is a risk of contamination when these industrial residues are placed in locations technically inadequate (land disposal); the results have also shown that there is a possibility of treating the same in sanitary dumpsters when the leftover leather and sawdust is mixed with organic material.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Processamento do couro	4
3.1.1. Histologia da pele.....	4
3.1.2. Conservação das peles e couros.....	5
3.1.3. Etapas do processamento do couro.....	6
3.1.3.1. Processo de ribeira.....	8
3.1.3.2. Processo de curtimento.....	8
3.1.3.3. Processo de acabamento.....	8
3.1.4. Resíduos sólidos gerados no processamento do couro.....	9
3.1.4.1. Lodos provenientes do reciclo do caleiro.....	9
3.1.4.2. Lodos provenientes da estação de tratamento de efluentes.....	9
3.1.4.3. Lodos ao cromo provenientes do reciclo do banho de cromo.....	10
3.1.4.4. Aparas não caleadas.....	10
3.1.4.5. Aparas caleadas.....	10
3.1.4.6. Carnaça.....	11
3.1.4.7. Aparas curtidas.....	11
3.1.4.8. Serragem da rebaixadeira.....	11
3.1.4.9. Pó da lixadeira	11
3.1.4.10. Outros resíduos sólidos gerados	12
3.1.5. Caracterização dos resíduos sólidos.....	12
3.1.6. Cromo e outros agentes curtentes.....	14
3.1.7. Pigmentos e corantes.....	18
3.2. Destino final dos resíduos sólidos de curtume	19
3.2.1. Resíduos sólidos não curtidos	19
3.2.2. Resíduos sólidos curtidos.....	19
3.3. Principais procedimentos/técnicas empregadas no tratamento e destinação final dos resíduos industriais	21

5.4.6. Demanda Química de Oxigênio.....	71
5.4.7. NTK e amônia.....	72
5.4.8. Sólidos totais, fixos e voláteis.....	72
5.4.9. Metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, ferro, níquel e zinco.....	72
5.4.10. Micro e macro nutrientes.....	73
5.4.11. Acidez.....	73
5.4.12. Ácidos voláteis.....	73
5.4.13. Cromo.....	73
5.5. Caracterização das aparas e serragens de couro.....	74
5.5.1. Teste em “aquários” à temperatura constante e pH variável.....	74
5.5.2. Teste em “aquário” à temperatura variável e pH 2,0 constante.....	75
5.6. Resultados da análise estatística.....	75
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	78
6.1. Conclusões.....	78
6.1.1. Lisímetros.....	78
6.1.2. Testes a pH e temperaturas diferentes.....	78
6.1.3. Células piloto de aterro sanitário.....	79
6.2. Recomendações.....	80
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
8. ANEXO A.....	86
9. ANEXO B.....	111
10. ANEXO C.....	120
11. ANEXO D.....	129
12. ANEXO E.....	156
13. ANEXO F.....	167
14. ANEXO G.....	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Caracterização do lodo gerado no processo de depilação e caleiro.....	12
Tabela 3.2- Constituição aproximada de alguns resíduos sólidos de curtume.....	13
Tabela 3.3- Composição de lodos com cromo e lodos com tanino	13
Tabela 3.4- Resíduos sólidos produzidos para uma tonelada de couro processado.....	22
Tabela 3.5- Distribuição de resíduos no Vale do Sinos (1998).....	22
Tabela 3.6- Espécies de bactérias anaeróbias no processo de biodigestão anaeróbia.....	36
Tabela 4.1- Parâmetros físico-químicos analisados nos líquidos percolados dos lisímetros e das células de aterro sanitário.....	52
Tabela 4.2- Parâmetros físico-químicos analisados nos resíduos sólidos orgânicos utilizados nas células piloto de aterro sanitário.....	53

ANEXO A

Tabela A.1- Resultados dos ensaios de lixiviação realizados com os resíduos sólidos do curtume.....	A1
Tabela A.2- Resultados dos ensaios de solubilização realizados com os resíduos sólidos do curtume.....	A1
Tabela A.3- Valores de cor aparente (mg Pt/L), Fase 1, período de 23/02 à 22/05/1998....	A2
Tabela A.4- Valores de turbidez (UNT), Fase 1, período de 23/02 à 22/05/1998.....	A3
Tabela A.5- Valores de pH, Fase 1, período de 23/02 à 22/05/1998	A4
Tabela A.6- Valores de condutividade (μ mhos/cm), Fase 1, período de 23/02 à 22/05/1998.....	A5
Tabela A.7- Volume total percolados pelos lisímetros na Fase 1.....	A6
Tabela A.8- Concentração de DQO total (mg O ₂ /L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1.....	A6
Tabela A.9- Carga de DQO total (mg) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1.....	A6
Tabela A.10- Concentração de DQO filtrada (mg O ₂ /L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1.....	A7
Tabela A.11- Carga de DQO filtrada (mg) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1.....	A7
Tabela A.12- Concentração de NTK-N (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1.....	A7
Tabela A.13- Carga de NTK-N (mg) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1.....	A8
Tabela A.14- Concentração de cloretos (mg Cl/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A8

Tabela A.15- Concentração de fluoretos (mg F/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A8
Tabela A.16- Concentração de fosfatos-P (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A9
Tabela A.17- Concentração de nitritos-N (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A9
Tabela A.18- Concentração de nitratos-N (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase	A9
Tabela A.19- Concentração de sulfatos-SO ₄ ⁻ (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A10
Tabela A.20- Concentração de sólidos totais (100 x mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A10
Tabela A.21- Concentração de sólidos fixos (100 x mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A10
Tabela A.22- Concentração de sólidos voláteis (100 x mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A11
Tabela A.23- Concentração de alumínio (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1	A11
Tabela A.24- Concentração de cádmio (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A11
Tabela A.25- Concentração de chumbo (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A12
Tabela A.26- Concentração de cobre (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A12
Tabela A.27- Concentração de cromo (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A12
Tabela A.28- Carga de cromo (mg) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A13
Tabela A.29- Concentração de ferro (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A13
Tabela A.30- Concentração de níquel (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A13
Tabela A.31- Concentração de zinco (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 1.....	A14
Tabela A.32- Volume total percolado pelos lisímetros na Fase 2.....	A14
Tabela A.33- Valores de cor aparente (mg Pt/L), Fase 2, período de 18/08 à 23/10/1998.....	A15
Tabela A.34- Valores de turbidez (UNT), Fase 2, período de 18/08 à 23/10/1998.....	A16
Tabela A.35- Valores de pH, Fase 2, período de 18/08 à 23/10/1998.....	A17
Tabela A.36- Valores de condutividade (µmhos/cm), Fase 2, período de 18/08 à 23/10/1998.....	A18

Tabela A.37- Concentração de alumínio (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 2	A19
Tabela A.38- Concentração de cádmio (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 2.....	A19
Tabela A.39- Concentração de chumbo (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 2.....	A19
Tabela A.40- Concentração de cobre (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 2.....	A19
Tabela A.41- Concentração de cromo (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 2.....	A20
Tabela A.42- Carga de cromo (mg) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 2.....	A20
Tabela A.43- Concentração de ferro (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 2.....	A20
Tabela A.44- Concentração de níquel (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 2.....	A20
Tabela A.45- Concentração de zinco (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 2.....	A21
Tabela A.46- Parâmetros físicos encontrados para o Lisímetro 1, Fase 3, período 27/10 à 27/11/1998.....	A21
Tabela A.47- Concentração de metais (mg/L) nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 3	A21
Tabela A.48- Concentração e carga de cromo nos percolados dos lisímetros referentes à Fase 3.....	A22

ANEXO B

Tabela B.1-Concentração de metais (mg/kg) referente às aparas brutas.....	B1
Tabela B.2- Concentração de metais (mg/L) referente às aparas após a Fase 1 (13 semanas).....	B1
Tabela B.3- Concentração de metais (mg/L) referente às aparas após a Fase 2 (23 semanas).....	B1
Tabela B.4- Concentração de cromo (g/kg) referente às aparas	B1
Tabela B.5- Concentração de cromo (mg/L) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos “aquários” referentes aos Lisímetros 1 e 2	B1
Tabela B.6- Carga de cromo (mg) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos “aquários” referentes aos Lisímetros 1 e 2	B2
Tabela B.7- Concentração de cromo (mg/L) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos “aquários” referentes aos Lisímetros 3 e 4	B2
Tabela B.8- Carga de cromo (mg) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos “aquários” referentes aos Lisímetros 3 e 4	B2
Tabela B.9- Concentração de cromo (mg/L) encontrada nas amostras líquidas	

retiradas dos “aquários” referentes aos Lisímetros 5 e 6	B2
Tabela B.10- Carga de cromo (mg) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos “aquários” referentes aos Lisímetros 5 e 6	B3
Tabela B.11- Concentração de cromo (g/kg) encontrada nas aparas retiradas dos “aquários” referentes aos Lisímetros 1 e 2	B3
Tabela B.12- Concentração de cromo (g/kg) encontrada nas “aparás” retiradas dos aquários referentes aos Lisímetros 3 e 4	B3
Tabela B.13- Concentração de cromo (g/kg) encontrada nas aparas retiradas dos “aquários” referentes aos Lisímetros 5 e 6	B3
Tabela B.14- Concentração de cromo (mg/L) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos “aquários” referente à serragem de couro “wet blue” (L1).....	B4
Tabela B.15- Carga de cromo (mg) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos “aquários” referentes à serragem de couro “wet blue” (L1).....	B4
Tabela B.16- Percentual de umidade presente nas aparas brutas.....	B4
Tabela B.17- Balanço de massa referente ao metal chromo nas células.....	B4
Tabela B.18- Balanço de massa referente ao metal chromo nos lisímetros.....	B5
Tabela B.19- Balanço de massa referente ao metal chromo no teste em “aquários” a pH 2,0	B5
Tabela B.20- Balanço de massa referente ao metal chromo no teste em “aquários” à temperatura ambiente	B6

ANEXO C

Tabela C.1- Precipitação pluviométrica (mm) registrada na cidade de Porto Alegre nos meses relativos à pesquisa	C1
Tabela C.2- Resultados das análises realizadas na matéria orgânica utilizada na montagem das Células	C2
Tabela C.3- Parâmetros físicos encontrados para a Célula 1, período de 21/09 à 30/12/1998.....	C2
Tabela C.4- Parâmetros físicos encontrados para a Célula 2, período de 28/10/1998 à 08/01/1999.....	C3
Tabela C.5- Concentração e carga de DQO total referente à Célula 1.....	C4
Tabela C.6- Concentração e carga de DQO total referente à Célula 2.....	C4
Tabela C.7- Concentração e carga de NTK-N e amônia-N referente à Célula 1.....	C4
Tabela C.8- Concentração e carga de NTK-N e amônia-N referente à Célula 2.....	C5
Tabela C.9- Concentração de sólidos (g/L) referente à Célula 1.....	C5
Tabela C.10- Concentração de sólidos (g/L) referente à Célula 2.....	C5
Tabela C.11- Concentração de metais (mg/L) referente à Célula 1.....	C5
Tabela C.12- Concentração e carga de cromo referente à Célula 1.....	C6
Tabela C.13- Concentração de micro e macro nutrientes (mg/L) referente à Célula 1.....	C6
Tabela C.14- Concentração de metais (mg/L) referente à Célula 2.....	C6

Tabela C.15- Concentração e carga de cromo referente à Célula 2.....	C6
Tabela C.16- Concentração de micro e macro nutrientes (mg/L) referente à Célula 2.....	C7
Tabela C.17- Concentração e carga de acidez referente à Célula 1.....	C7
Tabela C.18- Concentração e carga de acidez referente à Célula 2.....	C7
Tabela C.19- Concentração de ácidos orgânicos voláteis (mg/L) nos percolados da Célula 1.....	C8
Tabela C.20- Concentração de ácidos orgânicos voláteis (mg/L) nos percolados da Célula 2.....	C8
Tabela C.21- Concentração e carga de ácidos voláteis expressa em termos de ácido acético referente à Célula 1.....	C8
Tabela C.22- Concentração e carga de ácidos voláteis expressa em termos de ácido acético referente à Célula 2.....	C8

ANEXO G

Tabela G.1- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 5 % (Fase 1).....	G1
Tabela G.2- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 5 % (Fase 1).....	G2
Tabela G.3- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 1 % (Fase 1).....	G3
Tabela G.4- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para couros preto ao nível de significância de 5 % (Fase 1).....	G4
Tabela G.5- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para couros preto ao nível de significância de 1 % (Fase 1).....	G5
Tabela G.6- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para marrom ao nível de significância de 5 % (Fase 1).....	G6
Tabela G.7- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para marrom ao nível de significância de 1 % (Fase 1).....	G7
Tabela G.8- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 5 % (Fase 2).....	G8
Tabela G.9- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 5 % (Fase 2).....	G9
Tabela G.10- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para couros preto ao nível de significância de 5 % (Fase 2).....	G10
Tabela G.11- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para marrom ao nível de significância de 5 % (Fase 2).....	G11
Tabela G.12- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para marrom ao nível de significância de 1 % (Fase 2).....	G12
Tabela G.13- Análise estatística referente as quantidades de cromo presente nas aparas de couro antes e após cada fase ao nível de significância de 5 %	G13
Tabela G.14- Análise estatística referente as quantidades de cromo presente nas aparas	

de couro antes e após cada fase ao nível de significância de 1 %	G14
Tabela G.15- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5 % para a serragem de couro “wet blue”	G15
Tabela G.16- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5 % para o couro preto semi-acabado	G16
Tabela G.17- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5 % para o couro preto acabado	G17
Tabela G.18- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5 % para o couro marrom semi-acabado	G18
Tabela G.19- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5 % para o couro marrom acabado	G19
Tabela G.20- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 1 % para o couro marrom acabado	G20
Tabela G.21- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5 % para os couros verde acabado e branco semi-acabado.....	G21
Tabela G.22- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperaturas diferentes e pH constante ao nível de significância de 5 % para a serragem de couro “wet blue”	G22

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Corte esquemático de uma pele bovina.....	5
Figura 3.2- Fluxograma geral do processamento de peles e couros.....	7
Figura 3.3- Ligação do sal cromo com o colagênio.....	15
Figura 3.4- Ligação do glutaraldeído com o colagênio.....	16
Figura 3.5- Coordenação do titânio com as proteínas.....	16
Figura 3.6- Sal de cromo curtente com características aniônicas.....	17
Figura 3.7- Aumento da basicidade.....	17
Figura 3.8- Disposição inadequada de resíduos coureiro-calçadista nos arredores da cidade de Gramado - RS.....	20
Figura 3.9- Reportagem realizada pelo jornal ZERO HORA do dia 13/01/1999.....	21
Figura 3.10- Estágios metabólicos da digestão anaeróbia.....	35
Figura 3.11- Variação da composição do gás de aterros sanitários.....	37
Figura 3.12- Variação da composição do lixiviado de aterros sanitários.....	37
Figura 4.1- Perfil dos lisímetros utilizados na 1ª Etapa do trabalho.....	40
Figura 4.2- Aparas utilizadas em cada lisímetro.....	41
Figura 4.3- Vista dos lisímetros já montados.....	41
Figura 4.4- Detalhe da colocação das aparas de couro nos lisímetros.....	42
Figura 4.5- Sistema de rega dos lisímetros.....	43
Figura 4.6- Perfil dos “aquários” utilizados na 2ª Etapa do trabalho.....	44
Figura 4.7- Vista dos “aquários” em funcionamento.....	44
Figura 4.8- Coleta de amostras em um teste em “aquário”.....	47
Figura 4.9- Vista interna da célula (antes do preenchimento).....	48
Figura 4.10- Vista do preenchimento da célula com a manta BIDIM.....	48
Figura 4.11- Deposição dos resíduos sólidos (couro) na célula.....	49
Figura 4.12- Mistura dos resíduos sólidos com a matéria orgânica.....	49
Figura 4.13- Célula pronta e coberta com saibro.....	50
Figura 5.1-Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 9º dia - Fase 1.....	55
Figura 5.2- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 17º dia - Fase 1.....	56
Figura 5.3- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 37º dia - Fase 1.....	56
Figura 5.4- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 54º dia - Fase 1.....	57
Figura 5.5- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 67º dia - Fase 1.....	57
Figura 5.6- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 89º dia - Fase 1.....	58

Figura 5.7- Exemplo da estrutura de um corante ácido.....	60
Figura 5.8- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 3º dia - Fase 2.....	63
Figura 5.9- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 11º dia - Fase 2.....	64
Figura 5.10- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 66º dia - Fase 2.....	64
Figura 5.11- Colocação do percolados na Célula 1 no 1º dia após a montagem	68
Figura 5.12- Colocação do percolados na Célula 2 no 1º dia após a montagem	69
Figura 5.13- Coloração do percolados na Célula 1 no 100º dia	69
Figura 5.14- Coloração do percolados na Célula 2 no 74º dia	70

ANEXO D

Figura D.1-Comportamento da cor aparente do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 1.....	D1
Figura D.2-Comportamento da cor aparente do percolado no L2 (preto semi) - Fase 1.....	D1
Figura D.3-Comportamento da cor aparente do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 1.....	D1
Figura D.4-Comportamento da cor aparente do percolado no L4 (marrom semi) – Fase 1.....	D2
Figura D.5-Comportamento da cor aparente do percolado no L5 (marrom acab.) – Fase 1.....	D2
Figura D.6-Comportamento da cor aparente do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 1.....	D2
Figura D.7-Comportamento da turbidez do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 1.....	D3
Figura D.8-Comportamento da turbidez do percolado no L2 (preto semi) - Fase 1.....	D3
Figura D.9-Comportamento da turbidez do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 1.....	D3
Figura D.10-Comportamento da turbidez do percolado no L4 (marrom semi) – Fase 1.....	D4
Figura D.11-Comportamento da turbidez do percolado no L5 (marrom acab.) – Fase 1.....	D4
Figura D.12-Comportamento da turbidez do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 1.....	D4
Figura D.13-Comportamento do pH do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 1.....	D5
Figura D.14-Comportamento do pH do percolado no L2 (preto semi) - Fase 1.....	D5
Figura D.15-Comportamento do pH do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 1.....	D5
Figura D.16-Comportamento do pH do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 1.....	D6
Figura D.17-Comportamento do pH do percolado no L5 (marrom acab) - Fase 1.....	D6
Figura D.18-Comportamento do pH do percolados no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 1.....	D6
Figura D.19-Comportamento da condutividade do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 1..	D7
Figura D.20-Comportamento da condutividade do percolado no L2 (preto semi) - Fase 1..	D7

Figura D.21-Comportamento da condutividade do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 1.	D7
Figura D.22-Comportamento da condutividade do percolado no L4 (marrom semi) – Fase 1.....	D8
Figura D.23-Comportamento da condutividade do percolado no L5 (marrom acab.) – Fase 1.....	D8
Figura D.24-Comportamento da condutividade do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 1.....	D8
Figura D.25-Varição da cor aparente nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1.....	D9
Figura D.26-Varição da turbidez nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1.....	D9
Figura D.27-Varição da condutividade nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1....	D9
Figura D.28-Comportamento da cor aparente do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 2....	D10
Figura D.29-Comportamento da cor aparente do percolado no L2 (preto semi) - Fase 2....	D10
Figura D.30-Comportamento da cor aparente do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 2....	D10
Figura D.31-Comportamento da cor aparente do percolado no L4 (marrom semi) – Fase2.....	D11
Figura D.32-Comportamento da cor aparente do percolado no L5 (marrom semi) – Fase 2.....	D11
Figura D.33-Comportamento da cor aparente do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 2.....	D11
Figura D.34-Comportamento da turbidez do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 2.....	D12
Figura D.35-Comportamento da turbidez do percolado no L2 (preto semi) - Fase 2.....	D12
Figura D.36-Comportamento da turbidez do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 2.....	D12
Figura D.37-Comportamento da turbidez do percolado no L4 (marrom semi) – Fase 2.....	D13
Figura D.38-Comportamento da turbidez do percolado no L5 (marrom acab.) – Fase 2.....	D13
Figura D.39-Comportamento da turbidez do percolado no L6 (verde acab e branco semi) - Fase 2.....	D13
Figura D.40-Comportamento do pH do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 2.....	D14
Figura D.41-Comportamento do pH do percolado no L2 (preto semi) - Fase 2.....	D14
Figura D.42-Comportamento do pH do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 2.....	D14
Figura D.43-Comportamento do pH do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 2.....	D15
Figura D.44-Comportamento do pH do percolado no L5 (marrom acab.) - Fase 2.....	D15
Figura D.45-Comportamento do pH do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) – Fase 2.....	D15
Figura D.46-Comportamento da condutividade do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 2..	D16
Figura D.47-Comportamento da condutividade do percolado no L2 (preto semi) - Fase 2..	D16
Figura D.48-Comportamento da condutividade do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 2.	D16

Figura D.49-Comportamento da condutividade do percolado no L4 (marrom semi) – Fase 2.....	D17
Figura D.50-Comportamento da condutividade do percolado no L5 (marrom acab.) – Fase 2.....	D17
Figura D.51-Comportamento da condutividade do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 2.....	D17
Figura D.52-Variação da cor aparente nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2.....	D18
Figura D.53-Variação da turbidez nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2.....	D18
Figura D.54-Variação da condutividade nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2...	D18
Figura D.55-Carga de cromo (mg) lixiviada no L1 (“wet blue”) - Fase 1.....	D19
Figura D.56-Carga de cromo (mg) lixiviada no L2 (preto semi) - Fase 1.....	D19
Figura D.57-Carga de cromo (mg) lixiviada no L3 (preto acab.) - Fase 1.....	D19
Figura D.58-Carga de cromo (mg) lixiviada no L4 (marrom semi) - Fase 1.....	D20
Figura D.59-Carga de cromo (mg) lixiviada no L5 (marrom acab.)- Fase 1.....	D20
Figura D.60-Carga de cromo (mg) lixiviada no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 1.....	D20
Figura D.61-Carga de cromo (mg) lixiviada no L1 (“wet blue”) - Fase 2.....	D21
Figura D.62-Carga de cromo (mg) lixiviada no L2 (preto semi)- Fase 2.....	D21
Figura D.63-Carga de cromo (mg) lixiviada no L3 (preto acab.) - Fase 2.....	D21
Figura D.64-Carga de cromo (mg) lixiviada no L4 (marrom semi) - Fase 2.....	D22
Figura D.65-Carga de cromo (mg) lixiviada no L5 (marrom acab.) - Fase 2.....	D22
Figura D.66-Carga de cromo (mg) lixiviada no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 2.....	D22
Figura D.67-Carga de cromo (mg) lixiviada no L1 (“wet blue”) - Fase 3.....	D23
Figura D.68-Variação da concentração de cromo (mg/L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1.....	D23
Figura D.69-Variação da concentração de cromo (mg/L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2.....	D23
Figura D.70-Variação da carga de cromo (mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1	D24
Figura D.71-Variação da carga de cromo (mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2.....	D24
Figura D.72-Variação da concentração de DQO total (mg O ₂ /L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1.....	D24
Figura D.73-Variação da carga de DQO total (mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1	D25
Figura D.74-Variação da concentração de DQO filtrada (mg O ₂ /L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1.....	D25
Figura D.75-Variação da carga de DQO filtrada (mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1	D25

Figura D.76-Variação da concentração de NTK-N (mg/L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1.....	D26
Figura D.77-Variação da carga de NTK-N (mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1	D26

ANEXO E

Figura E.1-Precipitação pluviométrica (mm) registrada na cidade de Porto Alegre-RS nos meses de pesquisa.....	E1
Figura E.2-Comportamento da cor aparente do percolado na Célula 1.....	E1
Figura E.3-Comportamento do pH do percolado na Célula 1.....	E1
Figura E.4-Comportamento do potencial redox do percolado na Célula 1.....	E2
Figura E.5-Comportamento da condutividade do percolado na Célula 1.....	E2
Figura E.6-Comportamento da cor aparente do percolado na Célula 2.....	E2
Figura E.7-Comportamento do pH do percolados na Célula 2.....	E3
Figura E.8-Comportamento do potencial redox do percolados na Célula 2.....	E3
Figura E.9-Comportamento da condutividade do percolados na Célula 2.....	E3
Figura E.10-Variação da cor aparente nos percolados das células de aterro sanitário	E4
Figura E.11-Variação da condutividade nos percolados das células de aterro sanitário	E4
Figura E.12-Variação da concentração de DQO total (mg O ₂ /L) nos percolados das células de aterro sanitário	E4
Figura E.13-Variação da carga de DQO total (g O ₂) dos percolados nas células de aterro sanitário.....	E5
Figura E.14-Variação da concentração de DQO filtrada (mg O ₂ /L) nos percolados das células de aterro sanitário	E5
Figura E.15-Variação da carga de DQO filtrada (g O ₂) nos percolados das células de aterro sanitário.....	E5
Figura E.16-Variação da concentração de NTK-N (mg/L) nos percolados das células de aterro sanitário.....	E6
Figura E.17-Variação da carga de NTK-N (g) nos percolados das células de aterro sanitário	E6
Figura E.18-Variação da concentração de amônia-N (mg/L) nos percolados das células de aterro sanitário.....	E6
Figura E.19-Variação da carga de amônia-N (g) nos percolados das células de aterro sanitário	E7
Figura E.20-Variação das concentrações (mg/L) de NTK-N e amônia-N nos percolados da Célula 1	E7

Figura E.21-Variação das concentrações (mg/L) de NTK-N e amônia-N nos percolados da Célula 2	E7
Figura E.22-Variação das cargas (g) de NTK-N e amônia-N nos percolados da Célula 1.....	E8
Figura E.23-Variação das cargas (g) de NTK-N e amônia-N nos percolados da Célula 2.....	E8
Figura E.24-Variação da concentração de cromo (mg/L) nos percolados das células de aterro sanitário.....	E8
Figura E.25-Variação da carga de cromo (g) nos percolados das células de aterro sanitário	E9
Figura E.26-Variação da concentração de acidez (mg CaCO ₃ /L) nos percolados das células de aterro sanitário.....	E9
Figura E.27-Variação da carga de acidez (g CaCO ₃) nos percolados das células de aterro sanitário	E9
Figura E.28- Variação da concentração de ác. voláteis (mg á.acético/L) nos percolados das células de aterro sanitário.....	E10
Figura E.29- Variação da carga de ác. voláteis (mg á.acético/L) nos percolados das células de aterro sanitário.....	E10

ANEXO F

Figura F.1- Carga de cromo (mg) encontradas no teste em “aquário” para pH diferentes - L1.....	F1
Figura F.2- Carga de cromo (mg) encontradas no teste em “aquário” para pH diferentes - L2.....	F1
Figura F.3- Carga de cromo (mg) encontradas no teste em “aquário” para pH diferentes - L3.....	F1
Figura F.4- Carga de cromo (mg) encontradas no teste em “aquário” para pH diferentes - L4.....	F2
Figura F.5- Carga de cromo (mg) encontradas no teste em “aquário” para pH diferentes - L5.....	F2
Figura F.6- Carga de cromo (mg) encontradas no teste em “aquário” para pH diferentes - L6.....	F2
Figura F.7- Cargas de cromo (mg) encontradas no teste em “aquário” para temperaturas diferentes - L1.....	F3

LISTA DE SÍMBOLOS

- IPH** - Instituto de Pesquisas Hidráulicas
- SSMA** - Secretaria da Saúde e Meio Ambiente
- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- NBR** - Norma Brasileira Registrada
- Cr III** - Cromo trivalente
- Cr VI** - Cromo hexavalente
- L 1** - Lisímetro 1
- L 2** - Lisímetro 2
- L 3** - Lisímetro 3
- L 4** - Lisímetro 4
- L 5** - Lisímetro 5
- L 6** - Lisímetro 6
- ° A** - Graus Amstrong
- ° Bé** - Graus Baumé
- UTRESA** - Usina de Tratamento de Resíduos
- AWWA** - American Water Works Association
- NTK** - Nitrogênio Total de Kjeldhal
- DQO** - Demanda Química de Oxigênio
- ST** - Sólidos Totais
- SF** - Sólidos Fixos
- SV** - Sólidos Voláteis
- “wb”**- “wet blue”
- PSA** - preto semi-acabado
- PA** - preto acabado
- MAS** - marrom semi-acabado
- MA** - marrom acabado
- VB** - verde acabado e branco semi-acabado

1. INTRODUÇÃO

A região do Vale do Rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul, distante 40 Km da cidade de Porto Alegre, é considerada o pólo coureiro-calçadista mais importante do Brasil. Suas empresas são responsáveis pelo grande volume de resíduos sólidos (1 kg de resíduo/m² de couro acabado), gerados durante o processamento de peles, na forma de serragens e aparas de couros “wet blue”, acabados e semi-acabados e, também por lodos provenientes dos ciclos de calceiro, banhos de cromo e das estações de tratamento de efluentes.

Estes resíduos apresentam altos índices de metais pesados, oriundos do processo de curtimento (neste caso o cromo), e outros oriundos das tintas e lacas utilizadas nos processos de acabamentos, como cádmio, ferro, chumbo e níquel. Quando dispostos no ambiente de maneira inadequada, entram em contato com a água da chuva e percolam um efluente fora dos padrões estabelecidos pela legislação (Portaria nº 5 da SSMA) do Estado.

Como a classificação destes resíduos é CLASSE I (NBR-10.004 da ABNT, 1987a), ocasionada pela presença de níveis elevados de concentração de metais pesados, principalmente o cromo, torna-se necessária a busca de soluções alternativas para a sua disposição final, já que seu reaproveitamento ainda é pequeno, comparado ao grande volume gerado.

Existe muita polêmica com relação aos efeitos que o metal cromo pode causar na natureza (solo e meio hídrico). Quando na forma trivalente, é considerado pouco tóxico, mas quando presente na forma hexavalente, pode causar graves danos à saúde (LARINI, 1993) (SHIVAS, 1978) (MACCHI *et alli*, 1991).

Nas intoxicações por via oral, ambos estados de oxidação podem provocar vômitos, diarreia e hemorragias intestinais grave. No ambiente industrial, exposições repetidas à poeiras e óxidos do metal podem provocar perfurações do septo nasal, laringite, pneumoconiose e anemia severa (LARINI, 1993).

Hoje em dia, uma grande parte dos resíduos sólidos de curtume está sendo reciclada, como o lodo do ciclo de calceiro (rico em cálcio) utilizado como corretivo na acidez do solo. As aparas podem ser utilizadas em artesanatos para a confecção de bolsas e peças de vestuário ou, juntamente com as serragens de couro “wet blue”, podem se recicladas, utilizando tecnologia semelhante a do papel (recouro), na confecção de bolsas, cintos e palmilhas de

calçados. Alguns curtumes recuperam o cromo utilizando hidrólise-ácida, processo que ainda não é economicamente atrativo, mas uma solução para o futuro.

A partir de 1997 foram desenvolvidas no IPH pesquisas na área de resíduos sólidos de curtume, mais diretamente relacionadas à serragem de couro “wet blue”.

Uma delas foi desenvolvida por COTRIM (1997), com o intuito de tratar percolados de aterros sanitários com baixa concentração de matéria orgânica, utilizando materiais baratos como recheio para filtros percoladores aeróbios. Dos recheios testados, o que apresentou maior porcentagem de redução dos parâmetros analisados foi o “wet blue”. O recheio também apresentou indícios de degradação, e com o decorrer do tempo, a sua classificação de CLASSE I (perigoso) passou à CLASSE II (não inerte), o que permite a sua disposição em aterro sanitário municipal.

Outra pesquisa desenvolvida no IPH por SOUZA (1999), com o objetivo de estudar o desempenho de filtros biológicos aeróbios com meio suporte de “wet blue”, em tratamento de esgotos sanitários à baixa taxa de aplicação, mostrou resultados animadores com relação à remoção de coliformes fecais (redução de praticamente 100%). Da mesma maneira, o meio suporte de classificação CLASSE I (perigoso), no final do experimento passou à CLASSE II (não inerte).

Este trabalho, agregado aos referidos anteriormente, fornece dados relativos ao comportamento das aparas de couros acabados e semi-acabados, bem como de serragens de couros “wet blue” quando:

- dispostos em lisímetros simularam situações comuns de disposição inadequada no solo;
- expostos a situações agressivas de pH e temperatura em testes realizados nos “aquários”, e;
- codispostos em células piloto de aterro sanitário para a atenuação dos metais pesados através da complexação e adsorção pela matéria orgânica presente, utilizando a digestão anaeróbia como forma de tratamento prático e econômico para o resíduo em estudo.

Os resultados obtidos apresentaram-se bastante animadores com relação à expectativa lançada de tratamento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Estudar a viabilidade da disposição e tratamento final das aparas de couros acabados e semi-acabados e serragens de couros “wet blue” em células de aterros sanitários, observando-se os prováveis efeitos atenuadores da matéria orgânica sobre os metais pesados presentes, com ênfase para o cromo.

2.2. Objetivos específicos

1º) Estudar as características físico-químicas dos percolados gerados por regas sistemáticas sobre lisímetros, onde foi simulada a situação de disposição “in natura” de aparas e serragens de couros;

2º) investigar o comportamento das aparas e serragens frente à condições extremas de pH e temperatura, quanto à liberação do metal cromo presente;

3º) avaliar o efeito atenuador da matéria orgânica presente nas células de aterro sanitário sobre o metal cromo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Processamento do couro

A tecnologia de transformação de peles em couro é conhecida e dominada mundialmente. Curtir é o ato de transformar a pele de animais em couros inalteráveis e imputrescíveis (GNAMM,1945). Por serem utilizadas peles de inúmeras espécies de animais, faz-se necessário um conhecimento amplo da composição, da estrutura e das propriedades das mesmas. Devido a isto, as peles curtidas, do ponto de vista técnico, não possuem composição e qualidades iguais entre si.

3.1.1. Histologia da pele

A pele, também chamada tegumento dos animais, tem a função de isolamento e proteção dos agentes externos. De acordo com o ambiente em que o animal se encontra, seja ar ou água, exerce proteção evitando o desgaste e os efeitos atmosféricos. No caso da água, protege contra os efeitos bacterianos (ANUSZ, 1995).

A pele é constituída de três camadas distintas:

- epiderme;
- derme;
- hipoderme ou endoderme.

A epiderme é a camada mais externa, contribuindo com 1% da espessura total da pele. É constituída principalmente de queratina.

A derme constitui praticamente 84% da espessura total da pele, e apresenta estrutura fibrosa, densa e estável. Está constituída de uma camada superior chamada **flor** (responsável pelo aspecto final do couro) e uma camada inferior constituída de fibras de colagênio que conferem à pele resistência à tração e ao rasgo.

A hipoderme contribui com o restante da espessura da pele fresca, fazendo parte de sua constituição colagênio, elastina, tecido adiposo e muscular. Não tem valia dentro do processo de curtimento.

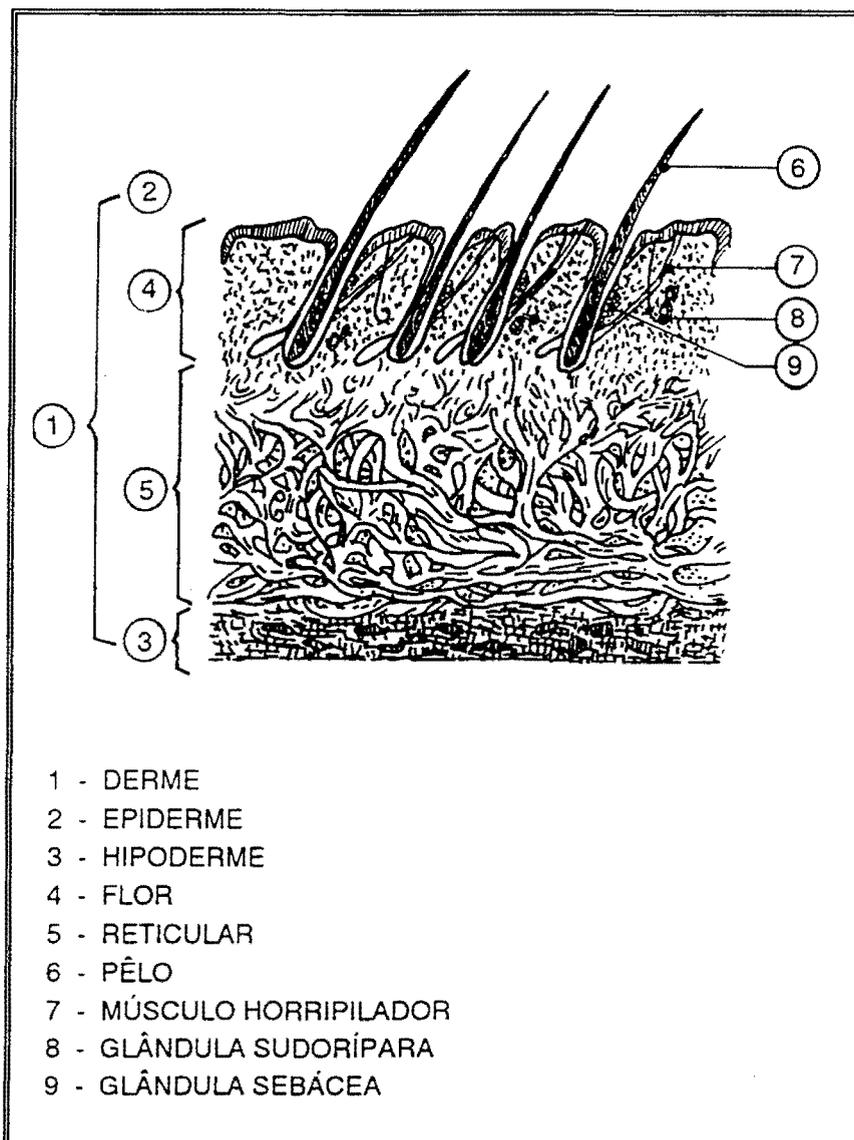


Figura 3.1- Corte esquemático de uma pele bovina
 (Fonte: HOINACKI *et alli*, 1994)

3.1.2. Conservação das peles e couros

A pele é extremamente perecível. Ao ser retirada do animal, após a morte, em pouco tempo é iniciada a sua decomposição.

Para a garantia de sua conservação, utilizam-se vários processos, como a secagem, salga, esfriamento, congelamento, tudo com o intuito de manter sua integridade até que seja iniciado o processo de curtimento (ANUSZ, 1995).

A pele “in natura” seria a mais indicada para o processo de curtimento, mas possui o inconveniente de, neste estado, estar sujeita à ação bacteriana imediata e aos efeitos de putrefação, ou seja, à ação dos vermes que utilizam a pele como alimento.

As bactérias aeróbias iniciam o processo putrefativo, criando condições favoráveis para as bactérias anaeróbias (gênero *Clostridium*) se desenvolverem. Treze espécies de bactérias pertencentes a diferentes gêneros foram isoladas tanto nas peles frescas como nas secas. Foi constatado que somente algumas delas eram potencialmente patogênicas, tais como *Streptococcus*, o *Staphylococcus*, o *Micrococcus*, o *Bacillus anthracis* e *Mycobacterium tuberculosis*. Cabe salientar que a flora bacteriana varia de acordo com a região .

A salga é o processo mais utilizado até hoje por ser o mais barato. O sal utilizado é o “sal grosso”. A sua utilização não impede totalmente o ataque por bactérias, já que algumas espécies conseguem sobreviver em condições mais agressivas. As peles são dispostas em pilhas de 1,4 m de altura, espalhando-se o sal na superfície destas entre cada camada, ou também acondicionadas (após abate) diretamente em caminhões munidos de tanques giratórios contendo solução de cloreto de sódio. Normalmente este tipo de conservação é utilizada para transportes à pequenas distâncias. A construção das pilhas é feita nas barracas, que são lugares ventilados mas abrigados da luz, em piso de concreto ou pedra, impermeável, com discreta inclinação para escorrer a laca que se forma.

Os sistemas de conservação das peles utilizando cromo, extratos vegetais ou outros tipos de curtentes (glutaraldeídos, óxido de titânio, por exemplo), são chamados respectivamente curtimento mineral ao cromo (gerando o “wet blue”), curtimento vegetal e curtimento ecológico (gerando o “wet white”).

O tipo de curtimento é escolhido de acordo com as características desejadas do produto que será confeccionado.

3.1.3. Etapas do processamento do couro

No fluxograma a seguir (Figura 3.2) é mostrado as operações gerais envolvidas na transformação da pele em couro.

Durante o processo são gerados resíduos líquidos (efluentes) e sólidos (aparas, pós da lixadeira, serragem da rebaixadeira, lodos do reciclo do caleiro, do banho de cromo e da estação de tratamento de efluentes), com as mais diversas características e quantidades de volumes, que devem ser tratados e armazenados de forma adequada, para evitar a contaminação do meio ambiente.

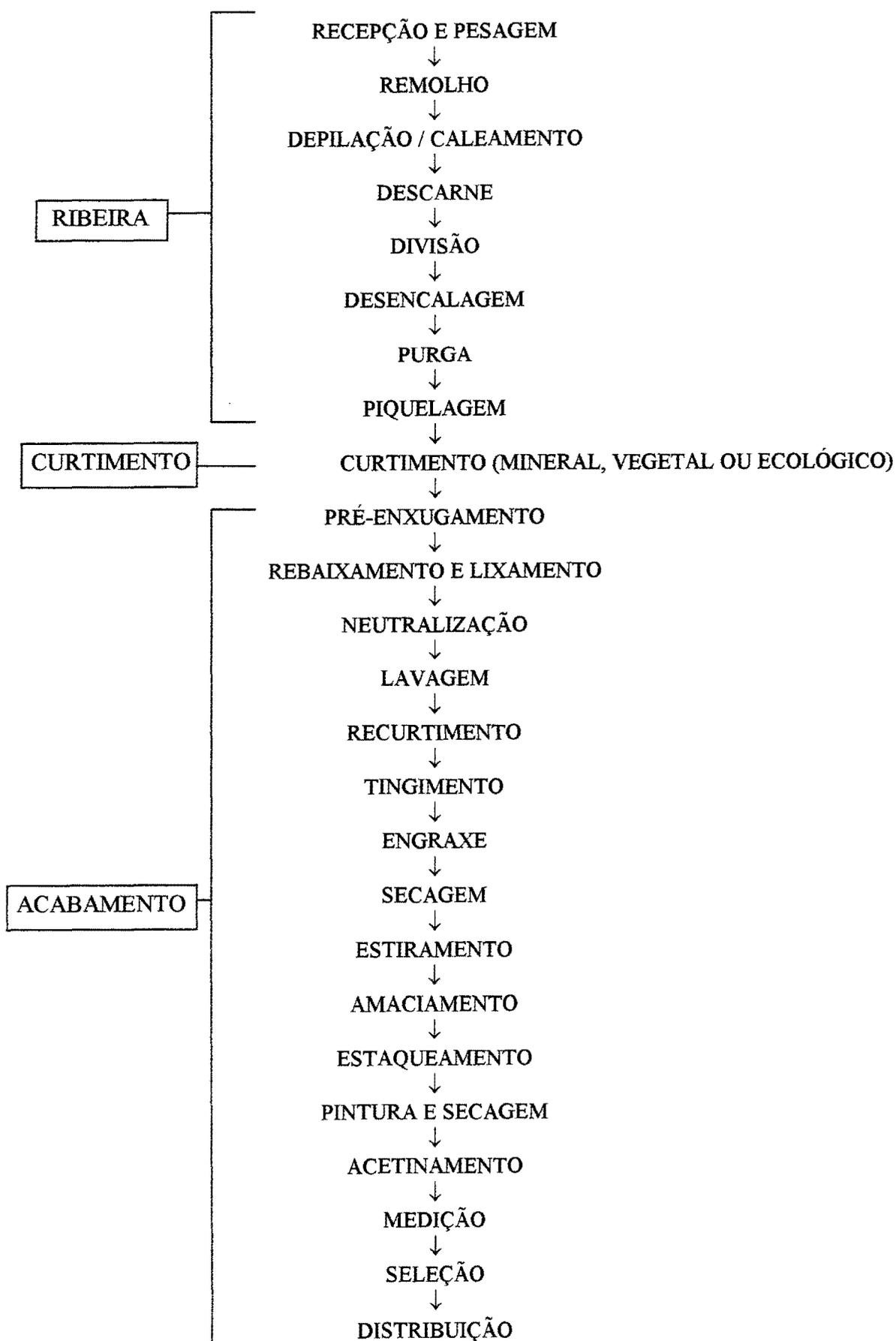


Figura 3.2- Fluxograma geral do processamento de peles e couros

As operações contidas na figura 3.2 podem ser agrupadas em três processos: ribeira, curtimento e acabamento.

3.1.3.1. Processo de ribeira

Recebeu esta denominação por este ser realizado, primeiramente, à beira de rios. É considerado o processo de maior carga poluidora dentro de um curtume.

No fluxograma, este processo abrange as etapas iniciais, ou seja, até piquelagem.

A finalidade deste processo é a limpeza e a eliminação de todos aqueles componentes que não irão constituir o produto final (HOINACKI *et alli*, 1994). Na depilação, é eliminado o sistema epidérmico; no descarne é retirada a camada hipodérmica, ao passo que da derme é removido o material interfibrilar. A etapa de piquelagem tem a função de preparar a pele para o curtimento (baixar o pH a 2,1) já que, durante o processo de ribeira, trabalha-se com pH elevado (pH 7 à 12), inversamente à etapa de curtimento.

3.1.3.2. Processo de curtimento

Ao final da etapa de ribeira, a pele apresenta-se limpa, mas ainda sujeita à degradação e putrefação.

Com o processo de curtimento, as peles adquirem estabilidade e, daí em diante, recebem a denominação de **couro**. Essa estabilidade consiste na resistência à putrefação e à ação de microrganismos e enzimas. Além disso, modifica-se acentuadamente a estabilidade da estrutura frente à água quente ou até à água fervente.

De maneira geral, o curtimento envolve a reação de sais de metais ou de extratos tanantes vegetais ou sintéticos com grupos reativos na estrutura protéica.

3.1.3.3. Processo de acabamento

Durante este processo o couro adquire a textura desejada.

As composições de acabamento apresentam resinas como principais constituintes. As resinas podem ser de diferentes tipos e origens. O acabamento, em geral, deve atender a uma série de exigências no que concerne ao seu desempenho quando da utilização do couro. Tais exigências compreendem a resistência à fricção a seco e a úmido, e a aderência. A finalidade primordial do acabamento é a de melhorar o aspecto e servir, ao mesmo tempo, como proteção para o couro (HOINACKI *et alli*, 1994).

3.1.4. Resíduos sólidos gerados no processamento do couro

Entre os numerosos problemas com os quais se defronta a indústria do couro e pele, há um que se ressalta: o dos resíduos sólidos.

Considera-se que 40% da matéria-prima (em estado fresco) é perdido na forma de resíduos.

Uma das características fundamentais dos resíduos da indústria do couro é a sua diversidade (PICHON, s.n.t.).

Diversidade de natureza: resíduos não-curtidos (pele), brutos ou caleados; resíduos curtidos (couro) sob forma de “wet blue” ou “wet white”; couros semi-acabados ou acabado; lodos provenientes dos sistemas de depuração do reciclo de caleiro e do banho de cromo, e resíduos da estação de tratamento de efluentes.

Diversidade de estado: seco ou úmido, sob forma de pedaços, aparas ou pulverulentos.

Uma outra característica dos resíduos é o seu baixo valor de mercado, sobrecarregado pelos custos de manutenção, de estocagem e de transporte. Muitas vezes, o seu valor é negativo, ou seja, o industrial paga para a sua eliminação.

3.1.4.1. Lodos provenientes do reciclo do caleiro

A operação de caleiro promove a retirada dos pêlos e da epiderme, saponifica gorduras e provoca o inchamento da pele, preparando para a operação posterior que seria a divisão da pele em duas: a externa, chamada de camada flor, possuindo maior importância comercial e a interna, mais utilizada para produtos menos nobres (menor resistência) como a camurça.

Para esta operação são utilizados produtos como cal, sulfeto de sódio e aminas. Constitui a maior carga poluidora de um curtume. Sua recirculação proporciona economia tanto de produtos de depilação, pois sempre são adicionados em excesso, como a economia com os produtos utilizados no tratamento dos efluentes.

Os lodos formados são constituídos na maior parte por cabelos e material protéico ou graxo desprendido pela ação mecânica do fulão sobre a pele. O material é retido em micro-peneiras existentes ao final da calha coletora que leva ao tanque de recirculação do caleiro.

3.1.4.2. Lodos provenientes da estação de tratamento de efluentes

A produção de resíduos sólidos resultantes da operação da planta de tratamento de efluentes líquidos é responsável por um grande volume diário de resíduos. Geralmente, o

beneficiamento de uma tonelada de pele salgada gera, até a etapa de acabamento, 100 kg de matéria seca de lodo (CLAAS & MAIA, 1994).

O volume diário de resíduos sólidos pode ser sensivelmente diminuído com a implantação do sistema de reciclo de caleiro, já que é responsável pela fração da maior quantidade de carga orgânica.

3.1.4.3. Lodos ao cromo provenientes do reciclo do banho de cromo

O lodo ao cromo é gerado através de reações químicas que ocorrem no tanque de espera para a reciclagem do banho de cromo. Este lodo é retirado quando ocorre a necessidade da troca integral do banho. Ele fica depositado no fundo do tanque, embora exista agitação constante.

3.1.4.4. Aparas não caleadas

São aquelas aparas obtidas antes de qualquer contato com produtos químicos utilizados no processo e, portanto, são os resíduos com menor chance de contaminação química. Estas aparas são formadas (em base seca) de 61,1% de proteínas. Isto faz com que este material, assim como as aparas caleadas, seja utilizado como matéria-prima para fabricação de cola de origem animal, artefatos de alimentação canina e para fins mais nobres, como gelatina para consumo alimentar ou farmacêutico e produtos médicos cirúrgicos.

3.1.4.5. Aparas caleadas

São as aparas obtidas após o processo de depilação e caleiro.

Por ser um material de conteúdo de proteína maior que o anterior (90% em base seca), apresenta uma ampla gama de reaproveitamento industrial. Para isto, os resíduos devem sofrer um processo físico-químico de clareamento, retirando, desta maneira, os produtos químicos existentes.

Além das aplicações anteriores, as aparas caleadas ainda podem ser utilizadas na fabricação de invólucros comestíveis para a indústria de embutidos, também como pele artificial em enxertos nas cirurgias médicas e na fabricação de ligantes para produtos de acabamento em couros.

As aparas caleadas podem chegar a 80 kg/t de pele salgada e, via de regra, são totalmente absorvidas pela indústria de gelatinas e na fabricação de cola de origem animal.

3.1.4.6. Carnaça

A carnaça é o resíduo sólido retirado do carnal, ou parte interna das peles que não tem interesse para o curtimento propriamente dito. É obtida na operação de descarnar. O material recolhido é utilizado como matéria-prima de graxa industrial.

3.1.4.7. Aparas curtidas

As aparas curtidas são as obtidas após o processo de curtimento. São geradas na fase final do beneficiamento do couro (aparas de couros acabados e semi-acabados), representando um pequeno volume no processo de fabricação propriamente dito, mas constituindo um volume maior na indústria que utiliza o couro como matéria-prima (indústria de caçados, vestuário). Sua utilização econômica vai depender do emprego ou não de um processo de descurtimento. Este processo é de custo elevado, normalmente não utilizado. Sem este processamento, as aparas podem ser utilizadas na fabricação de artigos pequenos como luvas ou detalhes de couro para a indústria de calçados e vestuário, e também em trabalhos artesanais.

Sua composição pode variar de acordo com o processo de curtimento empregado (cromo, vegetal ou ecológico) e em média, uma tonelada de pele salgada gera até 30 kg de aparas curtidas (PUGEN *et alli*, 1998).

3.1.4.8. Serragem da rebaixadeira

A serragem é proveniente da máquina de rebaixar, uma operação utilizada para uniformizar a espessura do couro curtido. Devido ao seu baixo peso específico, gera grande volume de resíduos, tornando-se o grande problema de um curtume - a falta de espaço para confinamento. Devido a isto, as pesquisas visando o seu aproveitamento tem progredido bastante nos últimos anos.

3.1.4.9. Pó da lixadeira

O pó da lixadeira é o resíduo proveniente das máquinas de lixar couro, etapa realizada durante o processo de acabamento de uma parcela do couro beneficiado. Este resíduo pode ser incorporado à serragem. O beneficiamento de uma tonelada de pele salgada pode gerar 2 kg de pó da lixadeira (PUGEN *et alli*, 1998).

3.1.4.10. Outros resíduos sólidos gerados

No dia a dia de uma empresa, são encontrados uma série de outros resíduos que, mesmo em pequena quantidade e sem fazer parte do processo produtivo, deverão ter igualmente um destino final. É o caso dos resíduos de pintura da seção de acabamento, das cinzas produzidas nas caldeiras, das embalagens de insumos químicos, do lixo gerado no restaurante e da limpeza da empresa.

3.1.5. Caracterização dos resíduos sólidos

A caracterização dos resíduos sólidos provenientes de um curtume, faz-se necessária para a escolha do tipo de tratamento, disposição final ou o reaproveitamento dos mesmos.

Nas tabelas a seguir são fornecidas a constituição aproximada de alguns dos resíduos sólidos gerados no processo industrial. Estes dados contribuem para estudos da disposição final ou do reaproveitamento.

Tabela 3.1- Caracterização do lodo gerado no processo de depilação e caleiro

Parâmetro	Valores
Umidade (%)	80,5
Nitrogênio total (%)	4,52
Carbono orgânico (%)	56,39
Relação C / N	12,3
Fósforo total (%)	0,07
Potássio total (%)	0,05
Cálcio total (%)	8,48
Magnésio total (%)	0,20
Enxofre total (%)	1,24
Zinco total (ppm)	66
Cobre total (ppm)	19
Ferro total (ppm)	614
Manganês total (ppm)	30
Boro total (ppm)	12
Molibdênio total	ND*
pH em água (2:1)	12,5
Amônio solúvel em KCl (ppm)	22
Nitrato solúvel em KCl (ppm)	20
Cloro (ppm)	ND*
Sódio (ppm)	35.524

ND* = não detectado

(Fonte : FISCH, 1993)

Tabela 3.2 - Constituição aproximada de alguns resíduos sólidos de curtume

Resíduo	Umidade %	Matéria graxa %	Matéria mineral %	Proteína %	Cromo III (base seca) %
sal	35	-	-	-	-
carnaça	80	6	5	9	-
aparas não caleadas	62	13,5	1	23,5	-
aparas caleadas	75	0,3	2,2	22,5	-
farelo da rebaixadeira	40	-	-	-	2,7
aparas de couro semi- acabado	14	-	-	-	3,2
pó da lixadeira	15	-	-	-	6,0

(Fonte: Teixeira, 1985)

Tabela 3.3 - Composição de lodos com cromo e lodos com tanino

Elementos	Lodo com tanino	Lodo com cromo
C (%)	66	21
N (%)	5,04	3,1
P (%)	0,21	0,2
K (%)	0,17	0,08
Ca (%)	8,68	17,9
Mg (%)	0,21	14
S (%)	1,35	1,47
Na (%)	3,41	1,5
Zn (ppm)	93	129
Cu (ppm)	28	22
Fe (ppm)	3.570	1.410
Mn (ppm)	2.680	5.430
B (ppm)	14	16
Cd (ppm)	1	12
Pb (ppm)	23	120
Cr (ppm)	34	8.040
Ni (ppm)	136	15
pH	7,1	9,4
Valor de neutralização (%)	11	47
Sólidos (60°C) (%)	87	79
Sólidos (105 °C) (%)	81	73
Cr VI	ND*	ND*

ND* = não detectado

(Fonte: SELBACH, 1991)

Observa-se na Tabela 3.3 uma variação considerável na composição dos lodos em função do tipo de curtimento ao cromo ou ao tanino. Verificam-se variações nos teores de alguns elementos, como cálcio, magnésio, sódio, manganês, ferro e nos metais pesados, cádmio, cromo, chumbo e níquel. O cromo VI não foi detectado nos lodos analisados. Salienta-se ainda maior teor de carbono no lodo de tanino, enquanto que o pH e o valor de neutralização são maiores no lodo ao cromo. Os macroelementos como fósforo e potássio apresentam teores muito baixos e o nitrogênio aparece numa quantidade razoável.

3.1.6. Cromo e outros agentes curtentes

O cromo é o agente curtente mais utilizado pelos curtumes (90%) no Brasil. É o elemento que melhor confere resistência à ação do calor, dos microrganismos e mecânica à pele. Também fornece flexibilidade e maneabilidade ao material acabado e diminui a capacidade de inchamento do colagênio frente à água (GERMANN,1995). Em contrapartida, geram efluentes agressivos ao meio ambiente. Por isso, torna-se necessário um rigoroso e contínuo estudo do processo, visando otimizá-lo, a fim de garantir suas vantagens e minimizar a agressão ao meio ambiente (HOINACKI *et alli*, 1994).

O cromo na natureza é considerado um elemento-traço com função biológica. Este tipo de elemento, mesmo que essencial, quando presente em grandes concentrações, pode apresentar alta toxicidade tanto aos organismos vegetais quanto aos animais (AMAZARRAY, 1993).

Os compostos de cromo existem em vários estados diferentes de oxidação ou valência, sendo os mais importantes o cromo trivalente (Cr III) e o hexavalente (Cr VI). Estes dois estados diferem significativamente quanto à compatibilidade ambiental. Sob condições normais, compostos de Cr VI são mais solúveis, mais móveis e mais tóxicos do que o Cr III. O Cr VI é um oxidante forte e é prontamente reduzido no solo e águas subterrâneas pelos íons ferrosos, sulfatos dissolvidos e matéria orgânica (SENAI, 1993). É considerado carcinogênico, e se aspirado com frequência provoca perfurações nasais (LARINI, 1993). Da mesma maneira, o pó da lixadeira, que é rico em Cr III, se aspirado pode, a médio prazo, provocar câncer pulmonar (SÁ, 1991). Isto comprova a necessidade de um excelente sistema de aspiração de pós e ventilação do local onde está instalada a lixadeira.

Não existem exemplos documentados que mostrem conversões ambientais de Cr III a Cr VI, decorrentes da disposição no solo de resíduos contendo Cr III, pois óxidos de Cr III são de 2 à 4 vezes menos solúveis em faixas de pH 6 a 9 (pH comum ambiental) do que nos

evitando os curtimentos superficiais. Logo após, a basicidade é aumentada gradualmente a 50-67% para que o sal de cromo se fixe.

Os metais de transição como o cromo formam complexos, onde o metal (cromo) é o átomo central e os grupos combinados, ligantes. Estes apresentam, pelo menos, um par de elétrons disponíveis para fazer a ligação com o átomo central. O sal de cromo empregado no curtimento é aniônico e catiônico ao mesmo tempo.

O complexo de cromo sofre modificações em sua estrutura que influem na difusão e na fixação do curtente.

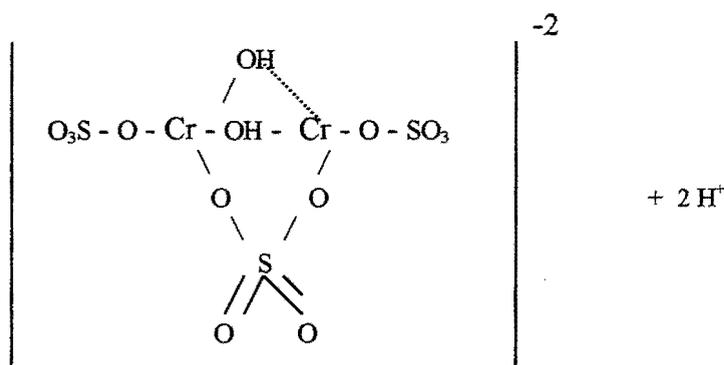


Figura 3.6 - Sal de cromo curtente com características aniônicas.
(Fonte: HOINACKI *et alli*, 1994)

Como o composto é aniônico, não tem poder de fixação, possuindo maior velocidade de difusão (penetração). A mudança de carga do complexo de aniônico para catiônico aumenta sua fixação. Esta mudança é função do tempo, da alcalinidade, pH e da temperatura.

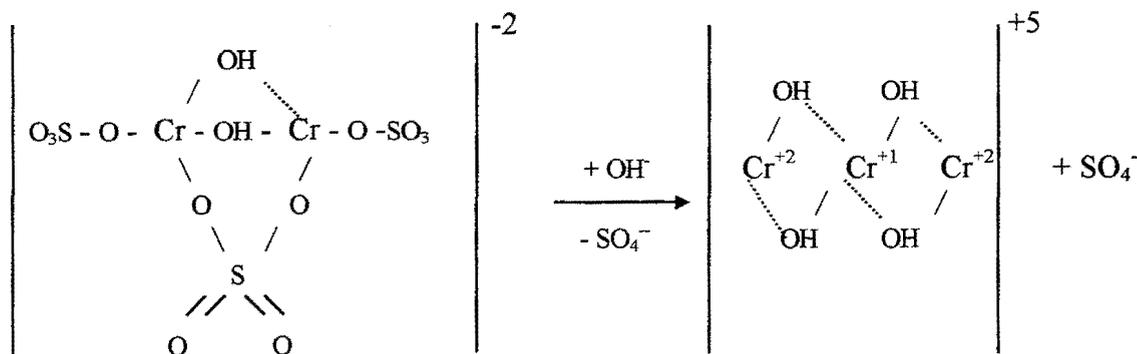


Figura 3.7 - Aumento da basicidade
(Fonte: HOINACKI *et alli*, 1994)

Desta maneira, ocorre a ligação do complexo cromo com a proteína (colagênio).

3.1.7. Pigmentos e corantes

Corantes são substâncias fortemente coloridas capazes de tingir materiais, especialmente fibras. Os corantes, em geral substâncias orgânicas, distinguem-se dos pigmentos no uso em solução, enquanto que os pigmentos formam partículas insolúveis e assim são empregados.

As cores visíveis são vibrações com vários comprimentos de onda, desde 4.000 até 8.000Å. Estas vibrações podem agir sobre os elétrons das moléculas, fazendo com que certas moléculas absorvam determinadas faixas de comprimentos de onda. Neste caso, a substância aparecerá colorida com a cor complementar absorvida (CARRARO & MEDITSCH, 1977).

São exemplo de materiais naturais que podem ser utilizados na obtenção das cores (GNAMM,1945):

Negro: negro de fumo;

Branco: óxido de zinco, óxido de titânio, misturas das cores: lilás, amarelo, vermelho, verde, bronze e prata contendo 15-60% de sulfato de zinco, óxido de antimônio;

Vermelho: óxido de ferro com um mínimo de óxido de chumbo;

Amarelo: sulfeto de cádmio e cromato de chumbo;

Verde: acetato de cobre, verde de Paris (contém arsênio);

Azul: silicatos de alumínio contendo sulfetos.

Com esta pequena mostra de materiais, pode-se explicar a existência de alguns metais presentes na composição do couro, os quais não faziam parte original do processo.

Além dos referidos, existe uma infinidade de corantes e pigmentos, que passam a ser aqui mencionados de forma explicativa.

BASF (1995) fez uma avaliação toxicológica de corantes azóicos que, embora proibidos na Alemanha desde 1971, aqui no Brasil ainda estão sendo utilizados.

Os corantes azóicos são corantes sintéticos oferecidos na forma de pó, granulados, em pasta ou líquida, trazendo como característica a ligação dupla $-N=N-$ onde ambos os nitrogênios estão unidos a um sistema anelar aromático. A sua dissociação forma duas aminas aromáticas. Estas aminas no organismo não são hidro ou lipossolúveis, ou seja não são biodisponíveis. Podem ser detectadas na urina de homens e animais.

3.2. Destino final dos resíduos sólidos de curtume

Os resíduos dos curtumes podem ser divididos em dois: os não curtidos e os curtidos. Cada um deve passar por um tratamento ou disposição adequada.

3.2.1. Resíduo sólido não curtido

Os resíduos sólidos não curtidos são todos aqueles gerados nas etapas anteriores ao curtimento. São peles ainda com pêlos (orelhas, rabo, cabeça), aparas não caleadas, carnaças, aparas e raspas caleadas. São matérias ricas em proteínas colagênicas e pobres em materiais graxos. Representam 7,5% dos resíduos sólidos (PICHON, s.n.t.).

A carnaça, resíduo proveniente da operação de descarte, é composta de tecido adiposo, conjuntivo e muscular. É constituída de matéria graxa, matéria mineral, proteínas e água em maior quantidade. Esta carnaça é cozida com vapor direto na massa em um tanque. Quando esta massa está cozida, a graxa líquida separa-se na parte superior, sendo transvazada para outro tanque com ácido sulfúrico diluído, separando-se as graxas e os óleos.

A carnaça associada a outros resíduos, tais como lodos da estação de tratamento, podem ser aplicados na agricultura como fertilizante, tendo-se o cuidado de observar a natureza dos solos, o tipo de cultura praticada, a alcalinidade dos resíduos e o teor de cromo de certos resíduos misturados (PICHON, s.n.t.)

3.2.2. Resíduo sólido curtido

Os resíduos sólidos de um curtume são as aparas de couro acabado e semi-acabado, pó de lixadeira e serragem do rebaixamento. Ainda são considerados resíduos sólidos o lodo da estação de tratamento de efluentes, que também contém cromo.

A serragem do rebaixamento é gerada a fim de dar uma espessura uniforme ao produto desejado (calçados, estofamento, vestuário), enquanto que o pó da lixadeira é oriundo da uniformização do toque no couro e também como preparação para o recebimento dos produtos de acabamento final, como ceras e resinas, que dão brilho e maciez ao toque. Estes resíduos apresentam problemas na sua eliminação, devido à baixa densidade, além do pequeno comprimento das fibras (GUTERRES, 1996). O resíduo é considerado interessante para a incineração, devido ao alto poder calorífico, mas gera outro problema que é a volatilização dos metais presentes, comprometendo o ar atmosférico. No Brasil, ainda é uma solução não adotada, devido ao alto custo e também, pelas precauções que devem ser consideradas com relação à poluição atmosférica.

As aparas de couro são geradas durante o processo de pré-acabamento e acabamento, na tentativa de uma maior aproveitamento do couro e formas finais comercializáveis (maior medição final).

O resíduo de maior volume em um curtume é a serragem proveniente da operação do rebaixamento do couro “wet blue”. Este é considerado o problema mais grave de um curtume, pois há dificuldade de um reaproveitamento, que está sendo feito parcialmente, mas longe de uma solução final. Estes resíduos têm sido depositados em:

- aterros preparados especialmente para este fim, sendo, normalmente, propriedade da própria empresa;
- aterros especiais coletivos como a **UTRESA** (Usina de Tratamento de Resíduos) em Estância Velha-RS, fundada em 1989 (RUPPENTHAL, 1997), atendendo 14 empresas do Vale dos Sinos, com uma área de 30 ha;
- ou em aterros comuns, sem maiores cuidados.

Exemplos da falta de cuidado com os resíduos de curtumes e fábricas de calçados estão expostas nas figuras 3.8 e 3.9.



Figura 3.8- Disposição inadequada de resíduos coureiro-calçadista nos arredores da cidade de Gramado-RS



Empresas são punidas

A prefeitura de Novo Hamburgo concedeu um prazo de 48 horas para que 17 empresas removam o lixo industrial depositado às margens do Arroio Pampa. As indústrias estão sendo autuadas com multas de R\$ 1,3 mil a R\$ 2,5 mil, mas ainda poderão recorrer.

A diretoria de Meio Ambiente está convocando empresas e carroceiros, responsáveis pela desova dos resíduos em local impróprio, para uma reunião, amanhã à noite, no Centro de Cultura de Novo Hamburgo.

Figura 3.9- Reportagem realizada pelo jornal ZERO HORA do dia 13/01/1999

3.3. Principais procedimentos/técnicas empregadas no tratamento e destinação final dos resíduos industriais

3.3.1. Otimização dos processos e reciclagem dos resíduos sólidos de curtumes

3.3.1.1. Otimização dos processos

Atualmente, estão sendo revistas as técnicas atuais e desenvolvidas outras novas para a diminuição do desperdício, como a dos recursos hídricos, reagentes químicos, energia, entre outros. São chamadas de “**Tecnologia Limpa**” (FISCH,1995). Cada indústria revê seu processo industrial. As reformas observadas nos curtumes foram as seguintes:

- aquisição de fulões de bater sal: diminuíram as cargas de cloretos que eram encontrados nos efluentes líquidos. Como é sabido, os cloretos agem como fortes bactericidas que dificultam o tratamento aeróbio destes efluentes;

- aquisição de fulões de remolho contínuo: além de diminuir sensivelmente a quantidade de água necessária para o remolho e limpeza da pele, lucra-se, também em tempo, já que pode

funcionar continuamente. A água é depositada em tanques e reciclada por pelo menos quinze dias;

- reciclo dos banhos de caleiro (maior carga líquida poluente em um curtume) e também de cromo (maior carga tóxica devido à presença do metal pesado cromo);

- possibilidade de redução considerável de massa de serragem da rebaixadeira pela classificação das peles por espessura, antes do curtimento (PUGEN *et alli*, 1998);

- minimização da quantidade de serragem da rebaixadeira de couro “wet blue” com a introdução de processos de pré-curtimento isento de cromo, à base de glutaraldeído ou titânio. A serragem produzida isenta do metal, é mais facilmente reutilizável em rações animais, na proporção máxima de 30 % (GUTTERRES, 1996) (TITANCHIM do BRASIL, 1994).

3.3.1.2. Reciclagem dos resíduos sólidos produzidos em curtumes

Nas tabelas abaixo foram fornecidas as quantidades aproximadas dos resíduos sólidos produzidos durante o processamento de uma tonelada de couro e também, quantidades de resíduos gerados no Vale dos Sinos para o ano de 1998.

Tabela 3.4- Resíduo sólidos produzido para uma tonelada de couro processado

Tipo de resíduo	Quantidade (kg)
serragem de rebaixadeira	120 a 130
pó da lixadeira	10 a 20
aparas de couros semi-acabados	48 a 50
aparas de couros acabados	8 a 10

(Fonte: PUNGEN *et alli*, 1998)

Tabela 3.5- Distribuição de resíduos no Vale dos Sinos (1998)

MUNICÍPIO	PRODUÇÃO (couros/dia)	RESÍDUOS SÓLIDOS (t/dia)
Novo Hamburgo	4.780	21,5
Estância Velha	4.175	18,8
Sapucaia	2.150	9,7
São Leopoldo	1.779	8
Campo Bom	100	0,4
TOTAL:	12.984	58,4

(Fonte: PUNGEN *et alli*, 1998)

O colagênio é separado (purificado) destes resíduos na forma de soluções, gel, fibras, filmes, podendo ser utilizado em artigos nobres, como cosméticos (produtos com propriedades cicatrizante), artigos médicos (catergutes, implantes, próteses, protetores de órgãos) e farmacêuticos.

Outras aplicações para o colagênio são: invólucros para salsicharia; cargas para incorporação do látex à borracha natural (permite a obtenção de elastômeros carregados, dotados de propriedades interessantes relativas à dureza e à abrasão); ligantes para a indústria do couro; farinhas alimentares para animais e ossos para cães; aditivos de massa de papel com um nítido melhoramento das propriedades mecânicas, mas com alto custo, que dificulta a aplicação industrial neste processo.

Tanto as raspas de couro “wet-blue” como aparas de couro acabado, podem ser recicladas por indústrias como a RECOURO S/A, com escritório em Novo Hamburgo-RS e sede no Rio de Janeiro-RJ.

A tecnologia de fabricação do couro regenerado utiliza a técnica da indústria de papel, e a produção compreende as etapas de moagem a seco e desfibramento das sobras industriais de couro em meio aquoso, preparação da polpa fibrosa, formação da folha, prensagem, secagem e acabamento. O produto é mais comumente empregado na fabricação de contraforte, palmilhas internas para calçados, encadernação, cintos, bolsas e, em menor quantidade, para revestimento ornamental de paredes.

O couro regenerado não possui resistência igual à apara original (GUTTERRES, 1996).

Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no Programa de Pós-Graduação da Engenharia Metalúrgica e dos Materiais - PPGEMM - UFRGS, foram desenvolvidas dissertações relativas ao aproveitamento das raspas de couro “wet-blue” e de sua utilização na fabricação de chapas (GUTTERRES, 1996) e na produção de materiais refratários (BASEGIO, 1997).

O pó da lixadeira pode ser incorporado a serragem da rebaixadeira ou também pode ser utilizado como ingrediente na fabricação de papelão e carga para a indústria de cimento (PUGEN *et alli*, 1998).

FISCH & COMPASSI (1994) apresentaram uma solução simples tanto tecnicamente quanto economicamente viável para trabalhar resíduos curtidos, em especial a serragem da

rebaixadeira e o pó da lixadeira. O sistema realiza um processo de hidrólise termo-química dos resíduos, gerando uma fase protéica e uma fase cromo.

A fase protéica pode ser utilizada na agricultura como adubo e condicionador do solo ou na alimentação de animais como fonte de proteína. A fase cromo pode ser utilizada como um recorrente ao cromo.

TAYLOR & DIFENDORF (1991) também sugerem o tratamento por hidrólise termo-química, utilizando-se temperaturas de extração entre 60 e 65°C, cal (5-6 %) que ativa as enzimas (pH alcalino) e enzimas (1-12 %). Estas enzimas ativadas hidrolisam e solubilizam a proteína que é separada por filtração, restando uma torta de cromo precipitado. A torta é tratada com ácido sulfúrico concentrado, formando-se uma solução de cromo por extração que pode ser utilizada diretamente no píquel.

A proteína hidrolisada contém menos de 4,5 ppm de cromo total, podendo servir como alimento, fertilizante e aditivo na indústria de cosmético.

SILVA (1989), comenta que um grande número de experimentos, conduzidos na Universidade de Piacenza na Itália, por mais de dez anos por pesquisadores italianos e espanhóis, excluíram o possível efeito tóxico do cromo efluente de curtumes sobre vários cereais e frutas, a despeito das altas taxas de lodo ao cromo aplicado ao solo como fertilizantes (400 kg/ha e mais que 20.000 ppm em peso seco). Esses resultados estão em acordo com trabalhos desenvolvidos na Inglaterra desde 1968.

Os lodos primários das estações de tratamento e do reciclo de calceiro podem ser utilizados como fertilizantes, condicionadores e corretivos dos solos ácidos. O cromo presente na forma trivalente é complexado pela matéria orgânica que fornece elétrons para a mineralização dos compostos, sob forma de compostos insolúveis como hidróxidos ou fosfatos, impedindo sua oxidação para a forma hexavalente (SELBACH, 1991) (FISCH, 1993) (BIDONE & POVINELLI, 1996). Estes estudos foram realizados para verificar as modificações nas propriedades químicas do solo e alterações na população microbiana e na dinâmica do cromo no sistema solo-planta.

As plantas utilizadas foram o rabanete (*Raphanus sativus*) durante o outono-inverno e o sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) durante a primavera-verão, observando os tratamentos recomendados da cultura de cada planta. Os tratamentos com lodos foram aplicados na camada superficial do solo (camada arável), homogeneizando-se os produtos com o solo e tomando como base os pesos secos.

Com os resultados obtidos das aplicações, SELBACH (1991) pode concluir que os lodos podem ser utilizados como corretivos da acidez do solo devido ao pH elevado (acima de 7,0) em uma quantidade máxima (em dose única) menor que 15 t/ha de lodo ao cromo e 30 t/ha de lodo ao tanino. É necessária a suplementação de fósforo, potássio e nitrogênio em cobertura para a obtenção de bons rendimentos em função das culturas. Os demais elementos apresentam níveis satisfatórios. Quanto ao aporte de metais pesados, apenas o cromo nas doses de 240 e 480 kg/ha de lodo, deve ser utilizado com cautela para plantas olerícolas. Já para produção de grãos não foram observados problemas.

FISCH (1993) e BIDONE & POVINELLI (1996) concluíram que a concentração de cromo no tubérculo foi menor que na raiz, devido a sua pouca mobilidade. Além disso, a propriedade do cromo em reagir com os materiais orgânicos impede a passagem do mesmo pela membrana biológica. Tudo isso faz com que até 85% fiquem retidos no primeiro milímetro de raiz, de acordo com a literatura especializada. Ainda com relação ao teor de cromo do tubérculo, segundo parecer do Centro de Ecologia da UFRGS, à exceção do tratamento 40 t/ha, os demais são passíveis de consumo humano.

Na mesma direção das pesquisas anteriores, FISCH *et alli* (1993) prosseguiram, agora utilizando outras culturas como eucalipto, acácia-negra, milho, soja, sorgo, trigo, alfafa, aveia e ervilhaca, com o objetivo de observar o aumento da produtividade para os solos testados.

SHIVAS (1978), MACCHI (1991), AMAZARRAY (1993) observaram a contaminação provocada pela lixiviação de resíduos industriais (como de curtumes) e urbanos. Todos chegaram as mesmas conclusões, como que as plantas possuem a capacidade de armazenar metais pesados em suas raízes. Nos animais, os órgãos de acúmulo são, principalmente, rins e fígado, que podem ser ingeridos pelo homem durante a alimentação.

No solo, a presença de certos níveis de Cr III podem provocar:

10-100 ppm - diminui o CO₂, interfere na respiração dos microrganismos;

1.000 ppm - reduz a nitrificação;

10.000 ppm - paralisa a transferência de nitrogênio no solo.

O cromo em presença de material orgânico ou ferro II, forma complexo estável, mantendo-se na forma trivalente que é considerada pouco tóxica. Já em presença de manganês, que funciona como um catalisador, o Cr III pode ser oxidado a Cr VI que é altamente tóxico, podendo provocar câncer e perfurações nasais.

Os autores também relatam como recuperar o cromo. A recuperação pode ser feita da seguinte maneira:

- 1) acidificar com ácido sulfúrico até pH 1,0;
- 2) oxidar Cr III a Cr VI com peróxido de hidrogênio;
- 3) separar o Cr VI dos outros cátions interferentes como ferro, magnésio, cálcio, alumínio por filtração a pH 7,0-8,0 e;
- 4) novamente a redução do Cr VI para Cr III por hidróxido de sódio (pH 10,0).

As conclusões mostraram que economicamente ainda não é viável este tipo de recuperação do cromo, devido ao gasto excessivo de produtos químicos; esta recuperação não é total (98 %).

KNÄPPER (1998) utilizou a vermicompostagem como alternativa de tratamento e disposição das aparas e lodos de curtumes. O material tratado foi utilizado em ajardinamentos, reflorestamentos e em plantas ornamentais com efeitos positivos, pois ocorre uma reestruturação física do solo, facilitando a refertilização química e biológica.

BIDONE & POVINELLI (1996) realizaram um estudo sobre a influência da vermicompostagem na mobilidade do metal pesado cromo de resíduos sólidos de curtumes, quando codisposto com material de características orgânicas como compostos de lixo urbano, explorando aspectos como o pH elevado, a grande capacidade de retenção de água de rega pelo húmus produzido e o efeito quelante das micelas coloidais orgânicas. Concluíram, após quatorze meses de observações que, a) é viável tecnicamente a vermicompostagem do resíduo sólido de curtume, utilizando composto de lixo orgânico urbano como substrato para as minhocas, embora as raspas, aparas e serragens ao cromo tenham se mostrado extremamente resistentes ao processo; b) o trabalho das minhocas no processamento foi predominantemente físico; c) em todas as fases do estudo, foram verificadas grandes perdas de macro e micro-nutrientes, demonstrando que as minhocas não contribuíram para o enriquecimento dos meios de vermicompostagem em termos de nutrientes; d) o húmus mostrou grande eficiência na retenção do cromo, embora pareça ter contribuído também para esta atenuação, o meio filtrante posto no fundo da leira; e) as baixas cargas de cromo lixiviadas, reduzidas a níveis insignificantes ao final de cada fase, mostraram que a partir de 60 dias de vermicompostagem o efluente líquido não apresentava características potencialmente impactantes ao meio ambiente; f) no final de todas as fases, as minhocas apresentaram concentrações extremamente elevadas

de cromo, indício inequívoco de que processaram as misturas. Ao serem submetidas à dieta apenas com substrato, excretaram, em um período de cinco meses, todo o cromo ingerido; g) o efeito tóxico do cromo nas minhocas fez-se sentir nas concentrações do metal entre 20.000 a 60.000 mg/kg; h) não foi encontrado Cr VI nos resultados dos testes de lixiviação e solubilização realizados com o húmus e vermicomposto; i) a lixiviação prévia dos resíduos de curtume a baixo pH, mostrou que o cromo, no lodo ao cromo, solubiliza com grande facilidade, contrariamente ao observado no lodo primário e nas aparas, raspas e serragens ao cromo.

Estudos feitos em filtros percoladores no tratamento de lixiviados de aterros sanitários utilizando vários tipos de leito suporte (COTRIM, 1997) forneceram resultados surpreendentes com relação a utilização de serragem de couro “wet blue” como um dos leitos suportes. Os leitos utilizados foram de areia regular, carvão ativado, argila nodulizada, brita granítica 00, cacos de tijolo maciço de tamanho correspondente a brita 00 e raspas de couro “wet blue”.

Os resultados mostraram que as eficiências dos filtros com carvão e com “wet blue” foram muito semelhantes, sendo possível afirmar-se que a utilização de filtros com raspas de couro “wet blue” representam um interessante alternativa de meio suporte para filtros percoladores no tratamento de lixiviados de aterros, tanto o ponto de vista técnico, como econômico, e principalmente do último, uma vez que as raspas são sobras via de regra inaproveitadas da indústria coureiro/calçadista.

Os lodos ao cromo podem ser aproveitados no próprio curtume após sofrer uma purificação com óxido de manganês, que eleva o pH para maior de 8, precipitando o cromo na forma de hidróxido. O precipitado é separado e retornar ao sistema depois de redissolvido com ácido sulfúrico concentrado (pH 2,5), formando um licor de cromo que é bombeado para o tanque de armazenamento, podendo ser reutilizado no processo. A eficiência de recuperação é de 95 a 98 % (VAN VLIET, 1993).

Os lodos ao cromo também podem ser utilizados como carga em fabricação de materiais cerâmicos, cimentos e refratários (FERRARI, 1998). Cada uma destas alternativas apresenta algum inconveniente. O curtume deve ter em mente que este procedimento não proporciona lucro pela economia de cromo, pois existem os custos operacionais com mão-de-obra, energia e reagentes, que consomem as vantagens econômicas. A grande vantagem é a definitiva destinação do cromo residual.

Com este procedimento, o curtume proporciona lançamentos de cromo na natureza, igual ou muito próximo à zero.

Muitos trabalhos estão sendo realizados na área de materiais na tentativa de um maior aproveitamento dos materiais sólidos provenientes dos curtumes. É o caso da utilização da cinza da serragem curtida ao cromo na produção de materiais refratários (BASEGIO & VILELA, 1997). A cinza proveniente da queima da serragem de “wet blue” é misturada com óxido de magnésio e alumina nas seguintes proporções: cinza (30 %) + MgO (70 %) e cinza (30 %) + Al₂O₃ (70 %). As amostras prensadas sofreram tratamento térmico à temperatura entre 1.350°C e 1.400°C. Nestas amostras, fez-se os ensaios de lixiviação e solubilização.

A conclusão foi de que é possível obter um material com composição típica de materiais refratários empregando-se cinzas da serragem de couro curtido ao cromo na sua formulação, em percentual de 30 % em peso; os materiais obtidos apresentam resistência mecânica compatível com produtos comerciais. Os ensaios de lixiviação e solubilização dos materiais obtidos permitiram classificar os materiais desenvolvidos como inertes, a despeito do fato das condições experimentais não serem aquelas da situação real de uso dos materiais.

Outro estudo utilizando a serragem de couro em materiais cerâmicos foi realizado por KELLER *et alli* (1997). Os resíduos foram adicionados à massas cerâmicas como carga. Observou-se que este material incorporado em uma porcentagem não maior de 6%, manteve as características originais do material fabricado, sem aumento de porosidade e diminuição de resistência. Também foi observado que dentro do material cerâmico, forma-se um ambiente redutor que pode evitar a oxidação do Cr III a Cr VI, tornando-o inerte. O resíduo utilizado trouxe vantagens econômicas devido à contribuição energética do calor de combustão da matéria orgânica.

GUTERRES (1996) estudou o aproveitamento da serragem do couro “wet blue” na obtenção de compósitos utilizados em chapas. As matérias-primas utilizadas foram a serragem do rebaixamento de couro “wet blue”, resíduos industriais de couro de fábricas de calçados, resinas de polietileno e de polipropileno, e polietileno e polipropileno reciclados. Para a preparação das amostras utilizou-se pasta de silicone como agente desmoldante e etileno glicol em testes para diminuir a tensão interfacial da serragem de couro.

Embora a tecnologia tenha evoluído e a ciência dos materiais tenha fornecido uma série de fibras e materiais, o couro ainda não encontrou um similar que pudesse superá-lo nas aplicações em que é utilizado (HOINACKI, 1994).

3.3.2. Aterros industriais

No Brasil, os aterros industriais são utilizados tanto para resíduos domésticos como para os industriais, devido às obras de disposição serem mais baratas e de tecnologia conhecida. Entretanto, deve-se sempre ter em mente que esses aterros não servem para todos os tipos de resíduos. São passíveis de disposição em aterros os resíduos poluentes neles contidos, que possam sofrer alguma forma de atenuação no solo, seja por processo de degradação, seja por processo de retenção (filtração, adsorção, troca iônica) (CETESB, 1985).

A codisposição de resíduos sólidos de curtumes com resíduos orgânicos é recomendável segundo AMAZARRAY(1993), MACCHI *et alli* (1991) e SHIVAS(1978), devido às propriedades das substâncias orgânicas de formarem complexos com o Cr III, evitando, ou dificultando, a oxidação a Cr VI.

Alguns cuidados devem ser tomados na construção de um aterro industrial perigoso:

- cobertura provisória ou definitiva;
- sistemas de drenagem de águas pluviais;
- sistema de impermeabilização;
- sistema de detecção de vazamento através da impermeabilização;
- sistema de coleta e tratamento de líquidos percolados;
- sistema de drenagem dos gases;
- cobertura final;
- poços de monitoramento do aquífero.

3.3.3. Incineração

Considerada por alguns como forma de disposição final, a incineração, é, na realidade, um método de tratamento que vem sendo utilizado para a destruição de uma grande variedade de resíduos líquidos, semi-sólidos e sólidos.

Tem por objetivo tornar o resíduo menos volumoso e/ou menos tóxico (ou atóxico). No Brasil, esta técnica é aplicada principalmente aos resíduos domiciliares e patogênicos, sendo muito pouco utilizada para resíduos industriais perigosos, devido a geração de emissões atmosféricas com material perigoso, como por exemplo cromo volatilizado, sendo necessário equipamentos especiais para o seu controle.

O couro curtido ao cromo tem como característica um elevado poder calorífico (4.500 kcal/kg), baixo conteúdo de enxofre (menos de 2%) e cinzas que são praticamente em sua

totalidade óxidos de cromo (90-95%). Estas características fazem com que seja um material adequado como combustível em um processo de incineração controlada, do qual se pode recuperar energia térmica (ou elétrica) e compostos de cromo para uma reutilização industrial (ORGILÉS, 1995 *apud* GUTTERRES, 1996).

Uma maior preocupação ambiental é manifestada, quando é estudada a geração de componentes tóxicos (SO_2 , NO_x e particulados) na exaustão dos gases de incineração e o efeito de sua remoção através do uso de lavadores de gases (IMAI *et alli*, 1991 *apud* GUTTERRES, 1996). Uma incineração não adequada de resíduos com Cr III cria condições oxidativas que podem levar a formação de Cr VI (DEXHEIMER, 1992).

O aproveitamento ou comercialização do cromo da cinza resultante é importante, pois além do seu valor econômico, o descarte aleatório da cinza pode acarretar que esta seja arrastada pela chuva para águas subterrâneas e chegue ao consumo público em diferentes formas.

De maneira geral, as unidades variam desde instalações pequenas, projetadas e dimensionadas para um resíduo em especial, operadas pelos próprios geradores do resíduo, até grandes instalações de propósitos múltiplos para incinerar resíduos de diversas fontes.

Os principais processos utilizados na atualidade são:

- incineração convencional;
- incineração em fornos de cimento;
- incineração a laser (experimental);
- incineração com infravermelho (experimental).

3.3.4. Estabilização e solidificação (encapsulamento)

O encapsulamento, processo também conhecido como solidificação, estabilização ou fixação, consiste em estabilizar os resíduos perigosos e transformá-los em materiais menos poluentes, através de reações químicas que fixam elementos ou compostos tóxicos em polímeros impermeáveis ou em cristais estáveis, utilizando adição de aglomerantes e processos físicos.

Visa atingir os seguintes objetivos:

- melhorar as características físicas e de manuseio dos resíduos;

- diminuir a área superficial através da qual possa ocorrer a transferência ou perda de constituintes poluentes;
- limitar a solubilização de qualquer constituinte no resíduo;
- destoxificar os constituintes poluentes.

Segundo CETESB (1985), as principais técnicas de estabilização/solidificação atualmente disponíveis, são basicamente as seguintes:

- Resinas;
- técnicas baseadas na adição de cimento;
- técnicas baseadas na adição de cal e outros materiais pozolânicos (excluindo o cimento);
- técnicas que envolvem a inserção do resíduo em materiais plásticos ou termofixos;
- tratamento dos resíduos para a obtenção de materiais que possam auto solidificar-se sem maiores adições de outros materiais constituintes;
- vitrificação de resíduos em sílica.

No entanto, a estabilização/solidificação não é uma forma de tratamento que se justifique para qualquer resíduo, já que não é recomendado para resíduos com mais de 10 a 20% de constituintes orgânicos, uma vez que eles interferem nos processos físicos e químicos, os quais são importantes para manter agregados os resíduos. Por isto, a técnica só é permitida, no caso de resíduos de curtumes, para utilização com os lodos ao cromo.

3.3.5. Fazendas de lodos

Fazendas de lodos ou “landfarming” são as denominações utilizadas para um método de tratamento onde o substrato orgânico de um resíduo é degradado biologicamente na camada superficial do solo e os íons metálicos, liberados nessa degradação, ou presentes nos resíduos, são incorporados nessa mesma camada de forma a não haver contaminação das águas do lençol freático. Foi criada para o tratamento de resíduos da indústria petrolífera, com grande sucesso e também pode ser aplicado no caso de lodos de curtumes.

É um processo relativamente simples e consiste na mistura do resíduo com a camada de solo existente na zona arável, a qual deve ser revolvida periodicamente. Por outro lado, sua aplicação em escala industrial implica na observância de critérios rigorosos de engenharia, visando a proteção dos recursos hídricos, já que se trata de um processo aberto, via de regra sem qualquer sistema de impermeabilização inferior ou superior.

3.3.6. Compostagem de resíduos em codisposição

Composto é a denominação dada para o adubo orgânico preparado pela decomposição de restos orgânicos (vegetais e/ou animais) que, em condições favoráveis de fermentação, são levados a um estado parcial ou total de humificação. É o resultado de um processo controlado de decomposição biológica, transformando-se em um produto mais estável, melhor utilizável como fertilizante orgânico e em melhores condições sanitárias.

Quando dirigida ao tratamento de resíduos industriais, a compostagem deve prever a hipótese de processamento em codisposição com materiais de origem orgânica, visando-se a remoção (ou atenuação) dos materiais que conferem periculosidade através das características adsorptivas e quelantes da massa de húmus ou composto produzido. Isto só pode ser conseguido com o uso de matéria orgânica como substrato bruto.

A compostagem pode ser tanto aeróbia como anaeróbia.

Basicamente o processo de compostagem anaeróbia pode ser dividido em três fases:

- 1) uma fase inicial de 1 ou 2 dias, onde os compostos solúveis (açúcares) são decompostos;
- 2) uma fase termófila, onde são degradados principalmente celulose e lipídeos;
- 3) estabilização, um período durante o qual ocorre um declínio de temperatura, diminuição na taxa de decomposição e recolonização do composto por outros microrganismos.

A melhor relação C/N para que exista o processo de compostagem é a de 10:1. Isto se deve ao fato de que os microrganismos que realizam a decomposição absorvem carbono e nitrogênio idealmente nesta relação, quando 2/3 do carbono são eliminados na forma de gás carbônico, ficando 1/3 imobilizado no protoplasma celular, resultando a relação final de 10:1.

Os fatores físicos como temperatura, aeração e umidade, e químicos como o pH, são condições importantes para os microrganismos durante o processo.

No início de processo, a temperatura da leira, em um primeiro estágio, permanece entre 23 e 43°C (fase mesófila), enquanto que num segundo estágio subsequente, permanece entre 45 e 85°C (fase termófila). Com o declínio do carbono, a temperatura diminui até atingir a temperatura ambiente, indicando o ponto de cura ou maturação do composto.

Durante as fases 1 e 2, é importante manter-se aeração para que a temperatura não ultrapasse as desejadas em cada fase, o que poderia ocasionar uma diminuição demasiada da

umidade, inibindo a atividade microbiológica. A umidade ideal situa-se em torno de 55 %, já que níveis maiores (70 %) podem causar anaerobiose e menores (40 %), inibição microbiana.

Para o tratamento dos resíduos do curtume, é necessário um balanceamento de condições nutricionais para um perfeito funcionamento do processo.

3.3.7. Vermicompostagem de resíduos em codisposição

A vermicompostagem é um tipo de compostagem na qual se utilizam as minhocas para digerir a matéria orgânica, provocando sua degradação, e no arejamento e na drenagem do material em fase de maturação.

A vermicompostagem é um processo de dois estágios. No primeiro, a matéria orgânica é decomposta de acordo com os padrões normais, em função da variante de processo utilizada, com redução de microrganismos patogênicos e retorno à condição de temperatura ambiente. Após a estabilização da temperatura, o material compostado é transferido para leitos rasos, para não se aquecer demasiadamente e não se compactar, pois os materiais de granulometria fina têm esta tendência. Faz-se a inoculação das minhocas, e 60 a 90 dias após, obtém-se o vermicomposto pronto, com aumento de macro e micronutrientes e a formação de húmus mais estável (BIDONE, 1995).

São fatores importantes para a vermicompostagem:

- a altura das leiras (máximo de 0,30 m);
- líquido de rega de boa qualidade, isento de impurezas;
- drenagem adequada do líquido de rega, mantendo uma umidade mínima nas leiras (50-60 %);
- meio em vermicompostagem com pH neutro;
- temperatura das leiras entre 20 e 25°C;
- proteção contra água de chuva e predadores;
- sombreamento adequado das leiras;
- escolha do verme adequado (a *Eisenia foetida* tem sido a mais utilizada);
- taxa de aplicação adequada de vermes (1.500 minhocas/m²).

3.3.8. Digestão anaeróbia de resíduos em codisposição

A digestão anaeróbia é um dos processos mais antigos utilizados para a estabilização de resíduos. É produzida, neste processo, a decomposição da matéria orgânica e inorgânica em completa ausência de oxigênio molecular (METCALF & EDDY, 1985).

Os processos anaeróbios são muito empregados pela enorme variedade de tipos de substratos que podem ser tratados. Isto é devido às bactérias anaeróbias presentes no processo, que utilizam pequena taxa de energia para a conversão em massa celular.

O processo anaeróbio é desenvolvido em quatro estágios metabólicos, que são:

- 1) Fase hidrolítica-fermentativa: os compostos orgânicos complexos, como lipídios, polissacarídeos, celulose, pectinas, proteínas e ácidos nucleicos, são hidrolisados em compostos mais simples (como acetatos, butiratos, propiateros e etanol), através de enzimas produzidas pelas bactérias fermentativas;
- 2) Fase acidogênica: os acetatos, hidrogênio e gás carbônico são formados através das bactérias fermentativas;
- 3) Fase acetogênica: os ácidos orgânicos de cadeia maior que a do ácido acético (ácidos voláteis), álcoois e outros compostos aromáticos, são convertidos à hidrogênio, dióxido de carbono e ácido acético, através das bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio, e compostos com apenas um carbono são metabolizados e transformados à acetatos, principal precursor do metano através das bactérias homoacetogênicas (consumidoras de hidrogênio);
- 4) Fase metanogênica: neste estágio ocorre a formação do metano (CH_4) através da redução do gás carbônico e da descarboxilação do acetato. Este processo ocorre devido à atividade de bactérias metanogênicas-acetoclásticas, que utilizam como substrato o acetato, e as metanogênicas consumidoras de gás carbônico.

Bactérias redutoras de sulfato, freqüentemente associadas às bactérias metanogênicas em meios anaeróbios, produzem acetato e H_2 para as metanogênicas e reduzem o sulfato à sulfeto. Se o processo estiver correndo normalmente, estas bactérias auxiliam as metanogênicas; caso contrário, tornam-se bactérias competitivas, consumindo o mesmo substrato, inibindo o desenvolvimento do processo (METCALF & EDDY, 1985) (LEITE, 1997).

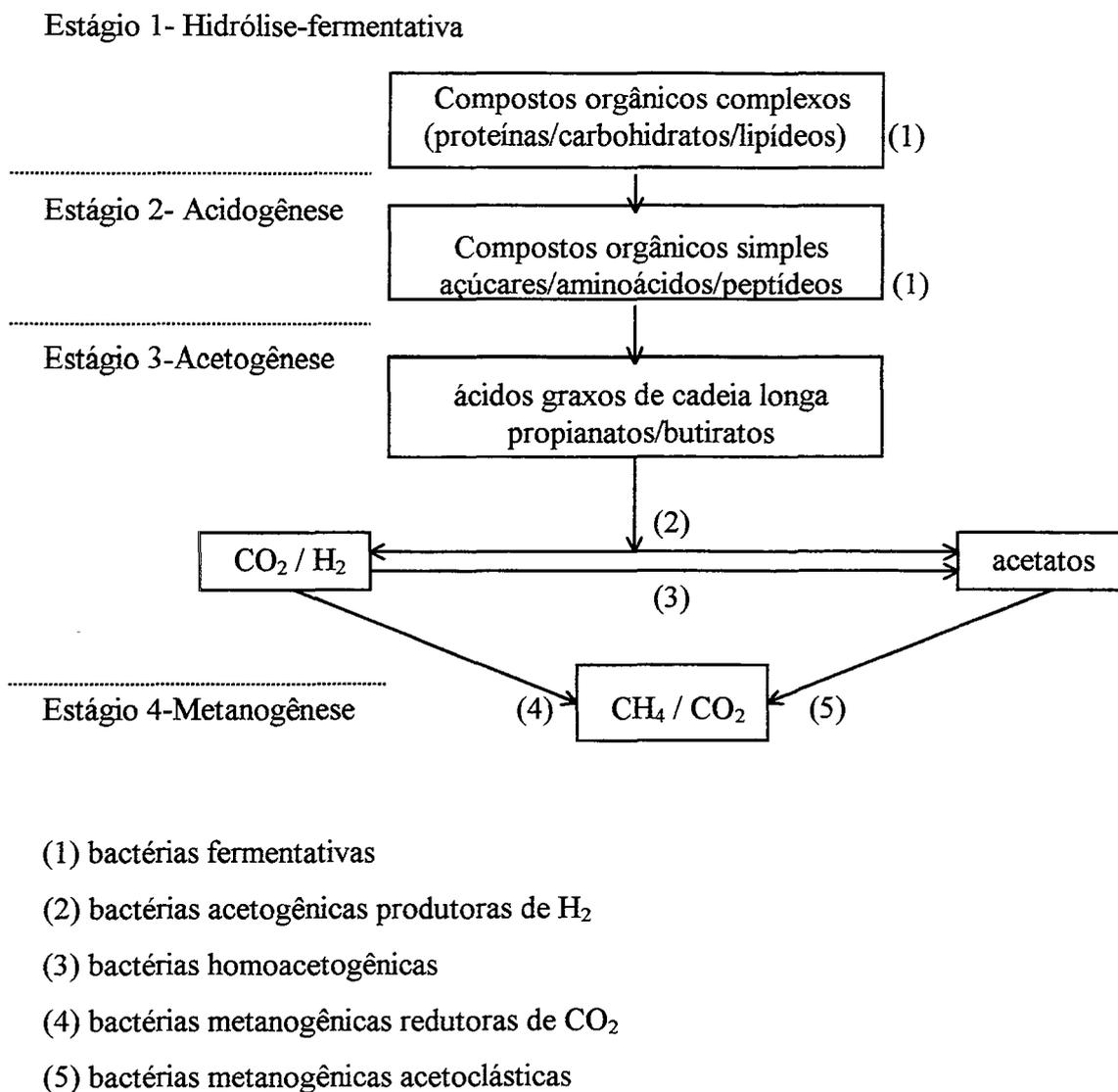


Figura 3.10- Estágios metabólicos da digestão anaeróbia
 Fonte: (NOVAES,1986)

Tabela 3.6- Espécies de bactérias anaeróbias no processo de biodigestão anaeróbia

Etapas do processo anaeróbio	Espécies bacterianas presentes
Hidrólise e acidogênese	<i>Clostrídios, Acetivibrio cellulolyticus, Bacteroides succinogenes, Butyrivibrio fibrisolvens, Eubacterium cellulosolvens, Bacillus sp, Selenomonas sp, Megasphaera sp, Lachnospira multiparus, Peptococcus anaerobicus, Bifidobacterium sp, Staphylococcus sp</i>
Acetogênese	<i>Syntrophomonas wolinii, S. wolfei, Syntrophus buswellii, Clostridium bryantii, Acetobacterium woddii, várias espécies de bactérias redutoras de íon sulfato - Desulfovibrio sp, Desulvotomaculum sp</i>
Metanogênese acetoclástica	<i>Methanosarcina sp e Methanotherix sp</i>
Metanogênese hidrogenotrófica	<i>Methanobacterium sp, Methanobrevibacter sp, Methanospirillum sp</i>

Fonte: LEITE (1997) *apud* VAZOLLER (1995)

As bactérias acetogênicas competem com as metanogênicas na utilização do hidrogênio. Uma produção exagerada de ácido acético será energeticamente desfavorável para a formação do metano (produto final), pois torna-se necessário o consumo do hidrogênio molecular do meio, exigindo um gasto de energia desnecessário. Deve haver um equilíbrio adequado entre as bactérias formadoras de ácido e as bactérias formadoras de metano.

Segundo LEITE (1997), este equilíbrio está associado a fatores como: ausência de oxigênio molecular; ausência de constituintes inibitórios; pH variando entre 6,6 e 7,6; capacidade tampão.

Como nos processos anaeróbios pode ser produzida ou consumida alcalinidade, dependendo das características do resíduo, o pH sofrerá bruscas variações até que seja atingida a estabilização do processo. Ele está diretamente ligado com a alcalinidade e os ácidos voláteis do sistema.

O material orgânico é transformado e incorporado, como fonte de energia, sendo uma parte utilizada para crescimento molecular e outra parte para a síntese dos compostos.

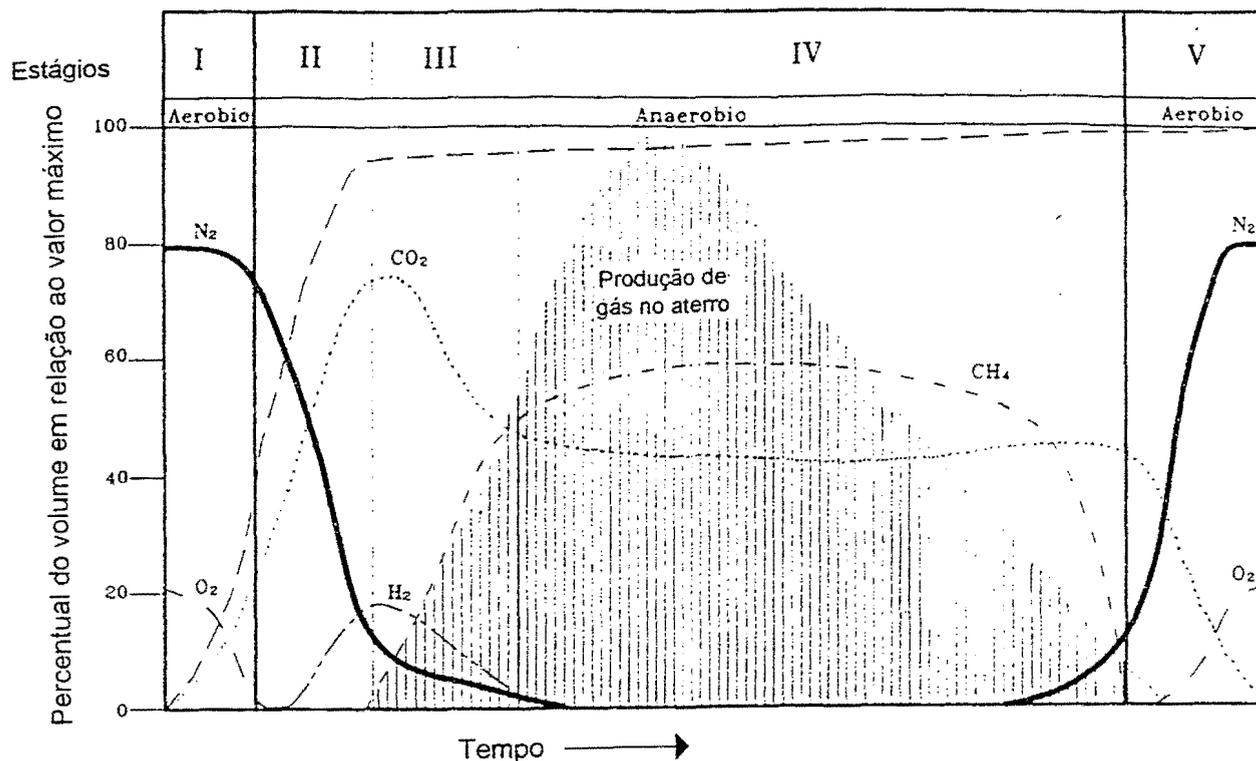


Figura 3.11- Variação da composição do gás de aterros sanitários
 Fonte: COTRIM (1997) *apud* HMSO (1995)

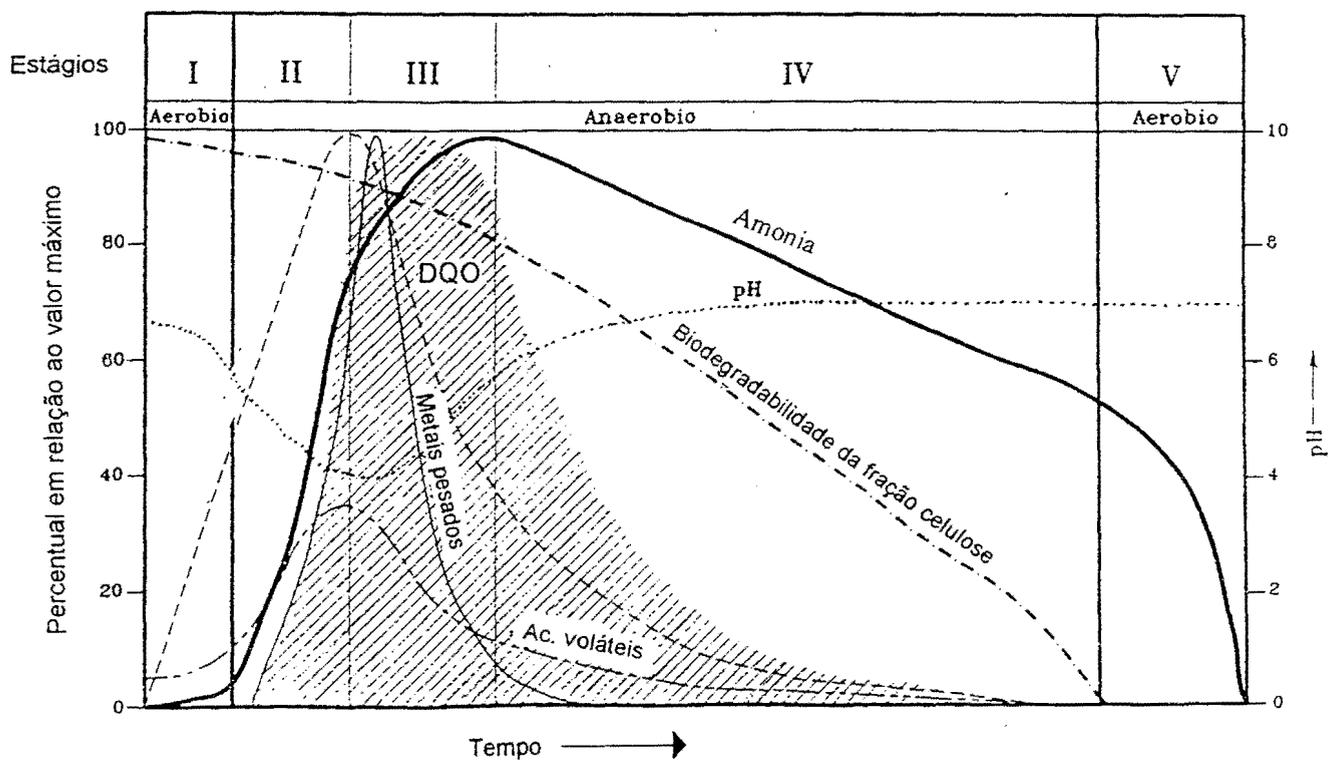


Figura 3.12- Variação da composição do lixiviado de aterros sanitários
 Fonte: COTRIM (1997) *apud* HMSO (1995)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em três etapas distintas:

- **1ª Etapa:** foram construídos lisímetros que simularam a situação de disposição dos resíduos sólidos estudados “in natura” de forma tecnicamente inadequada. Esta etapa foi dividida em três fases que se diferenciaram pelo pH de rega: **Fase 1**, rega com água destilada pH 6,7 e **Fases 2 e 3** com água destilada acidulada a pH 3,0;
- **2ª Etapa:** foram montados recipientes com agitação e aquecimento denominados de “aquários” para a realização do estudo da liberação do metal cromo presente nas aparas, frente a condições mais agressivas de pH e temperatura;
- **3ª Etapa:** foram construídas células piloto de aterro sanitário, controlando-se o processo pela análise dos líquidos percolados. O líquido percolado na primeira célula foi gerado pelo processamento coadjuvado pela precipitação natural, enquanto que na segunda, este foi gerado pela simulação da precipitação média anual da cidade de Porto Alegre-RS, com quantidades correspondentes a volumes diários, sistemática e diariamente aplicadas sobre os resíduos.

Os resíduos utilizados na pesquisa foram: aparas de couros acabados e semi-acabados nas cores marrom e preto (cores da moda atual nacional); verde e branca (cores da moda atual internacional) e; serragem de couro “wet blue”, considerado o resíduo de maior volume dentro de um curtume.

As três etapas foram desenvolvidas no Laboratório de Tecnologias Ambientais do IPH.

4.1. Montagem dos experimentos

4.1.1. Lisímetros

Os lisímetros foram montados em tubos de PVC branco de diâmetro nominal de 400mm e 100cm de profundidade, munidos de um dreno ao fundo de 15mm de diâmetro interno e pequena camada drenante de 2 cm de brita nº 02 (Fig. 4.1).

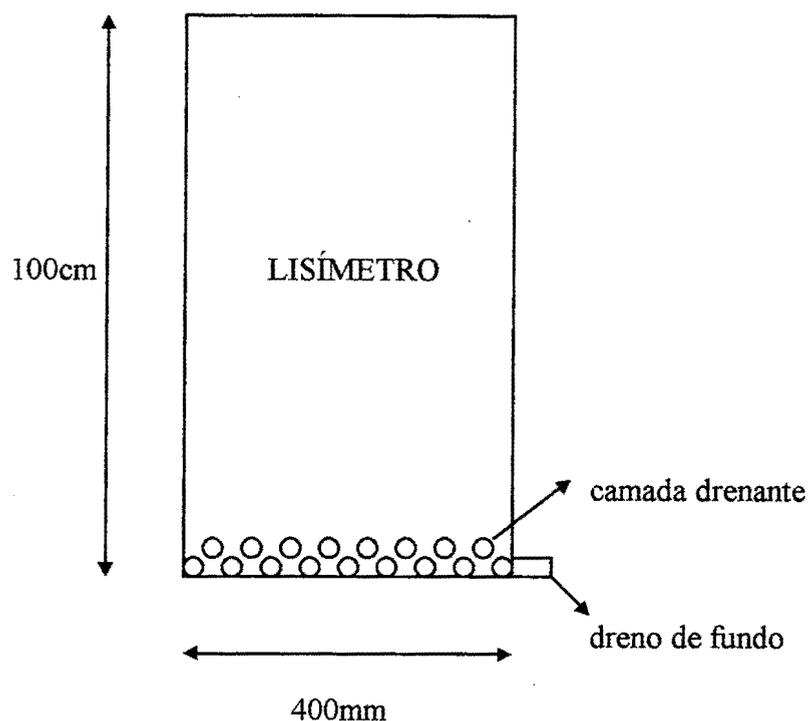


Figura 4.1- Perfil dos lisímetro utilizados na 1ª Etapa do trabalho

Os resíduos foram separados por cor, acabamento e colocados no lisímetro conforme foram fornecidos pelo curtume, sem nenhum tipo de tratamento ou preparo, na quantia de 8 kg (Fig. 4.2).

Cada lisímetro recebeu um identificação e foram assim relacionados:

Lisímetro [1] – “wet blue”

Lisímetro [2] - preto semi-acabado

Lisímetro [3] - preto acabado

Lisímetro [4] - marrom semi-acabado

Lisímetro [5] - marrom acabado

Lisímetro [6] - verde acabado e branco semi-acabado (1:1 em peso)

Pela parte superior de cada lisímetro, foi realizada a rega com água destilada (Fase 1) e com água destilada a pH 3,0 (Fases 2 e 3), em quantidade que simulava a precipitação média da cidade de Porto Alegre-RS (1.200mm/ano), o que resultou na aplicação diária de 0,50 L/d. A rega foi feita com um regador caseiro confeccionado com uma garrafa PET descartável de 2 L, uma redução de tubo de $\frac{3}{4}$ ” x $\frac{1}{2}$ ” e um chuveiro de 9 cm de diâmetro (Fig. 4.5).

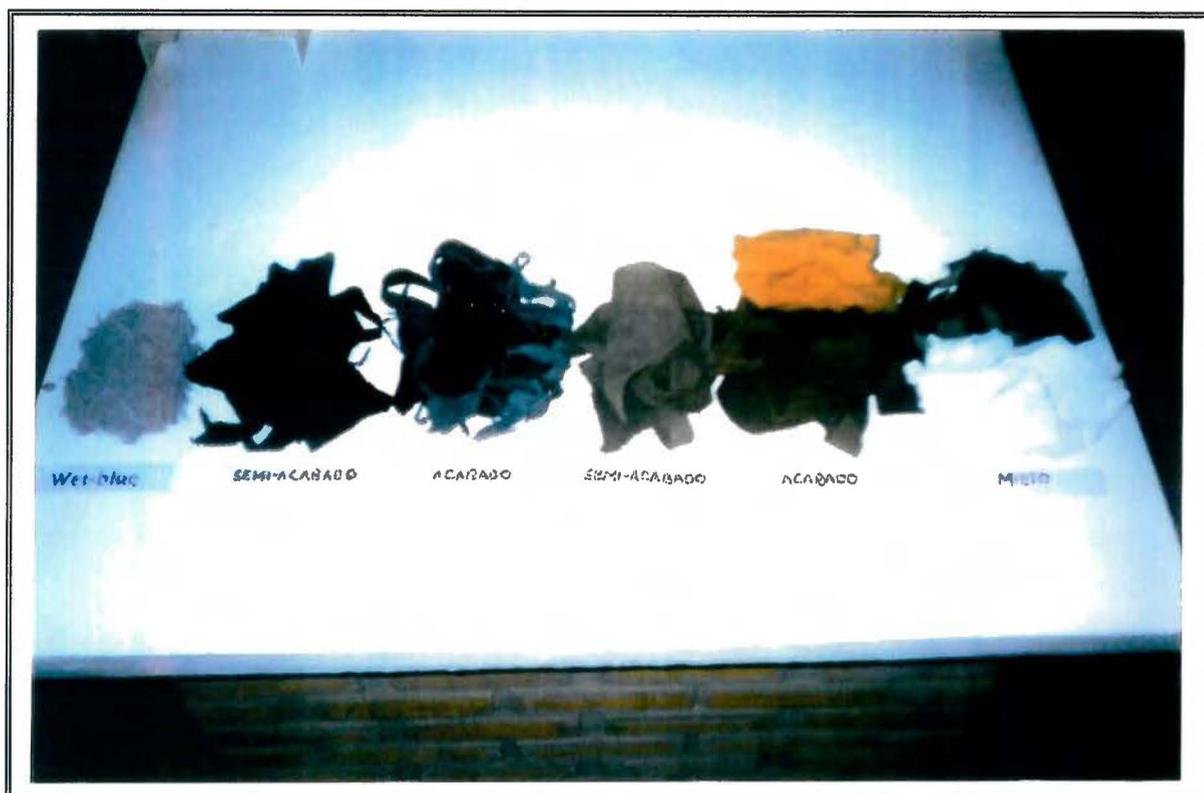


Figura 4.2- Aparas utilizadas em cada lisímetro



Figura 4.3- Vista dos lisímetros já montados

O líquido percolado foi coletado através do dreno de fundo e armazenado em garrafas plásticas à baixa temperatura, obedecendo-se a técnica de conservação de cada análise específica.



Figura 4.4- Detalhe da colocação das aparas de couro nos lisímetros

Na Fase 1 foi utilizada para rega água destilada com pH entre 5,5 e 6,5. Esta fase teve a duração de 13 semanas (fig. 4.5).

Nas Fases 2 e 3, foi utilizada para a rega água destilada a pH 3,0. Para a acidificação foi usado ácido sulfúrico 6 N, ácido abundante e de fácil manuseio (MACCHI *et alli*, 1991), com duração de 10 e 5 semanas, respectivamente. Estas fases foram utilizadas somente como complemento da observação do comportamento dos metais frente a condições ácidas, já que o cromo é, de certa maneira, solúvel em pH menores que 3,8 (pH de curtimento).

Diariamente foram coletadas amostras, compondo-se uma amostra semanal que foi analisada em termos de metais (cromo, cobre, níquel, chumbo, cádmio, ferro, zinco e alumínio), nitrogênio total de Kjeldhal (NTK), demanda química de oxigênio (DQO), sais (cloretos, fluoretos, fosfatos, nitratos, nitritos e sulfatos), sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF). Estas análises foram realizadas na Fase 1. Nas Fases 2 e 3, foram realizadas somente análises semanais dos metais. As análises foram realizadas de acordo com APHA, AWWA (1989).

Diariamente também foram realizadas as análises de pH, cor, turbidez e condutividade.



Figura 4.5- Sistema de rega dos lisímetros

4.1.2. “Aquários”

Os “aquários” nada mais são que recipientes montados em vidro temperado de 8mm de espessura e com as seguintes dimensões: 0,40 X 0,43 X 0,40 m. Foram equipados com resistência elétrica para aquecimento e agitador eletromecânico (Fig. 4.6).

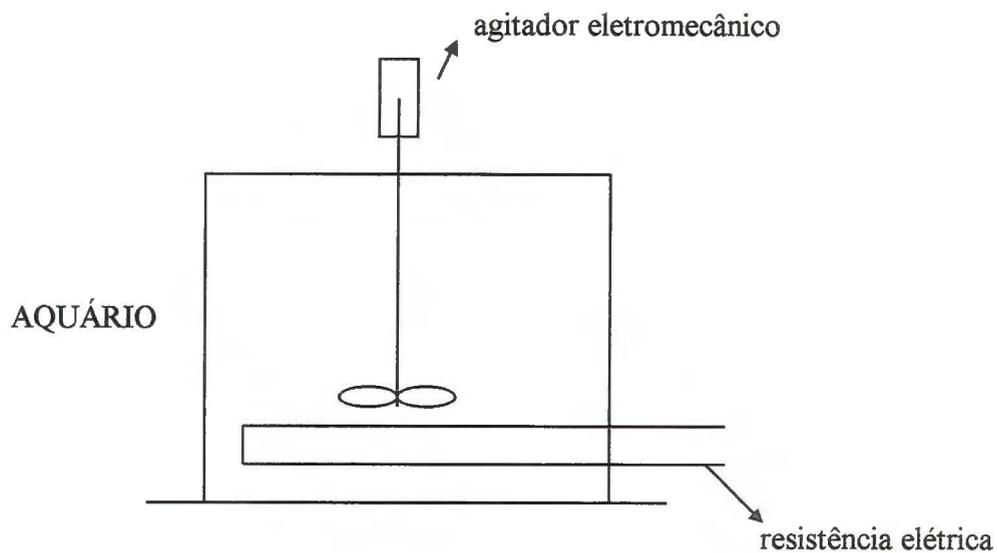


Figura 4.6- Perfil dos “aquários” utilizados na 2ª Etapa do trabalho



Figura 4.7- Vista dos “aquários” em funcionamento

Com os resíduos sólidos em estudo, foram realizados dois tipos de testes:

- temperatura ambiente e diferentes pH;
- temperaturas variadas e pH 2,0 constante.

Estes testes com os aquários foram realizados para demonstrar uma maior ou não facilidade de liberação do metal cromo frente a pH extremos, pH estes que naturalmente não chegam a ser obtidos em um aterro.

4.1.2.1. Teste à temperatura ambiente e diferentes pH

Neste teste os pH testados foram os seguintes:

- 1,5;
- 2,0;
- 2,5;
- 3,0.

A temperatura utilizada foi a ambiente, não sendo possível testar pH inferiores a 1,5, devido à dificuldade de se obter este valor mencionado (gasto elevado de ácidos e dificuldade de estabilização do valor). Este pH tornou-se extremamente agressivo às aparas, que se desmantelaram (desagregação total da proteína) após a desidratação na estufa. Não foi possível testar pH superiores a 3,0, pois a amostra de “wet blue” em contato com a água forneceu pH baixos próximos ao testado. Para isto, seria necessária a adição de bases, o que não seria conveniente ao estudo.

Em cada teste foram utilizados 250 g de amostra e 25 L de água destilada. A amostra permaneceu sob agitação até total umidificação, para depois ser corrigido o pH com ácido sulfúrico p.a. Esta concentração de ácido foi escolhida para evitar o aumento de volume de líquido utilizado. A cada 1 hora foi verificado o valor do pH e retirada uma amostra líquida e outra de aparas para a análise do teor de cromo extraído pelo ácido. O teste foi realizado num período de 6 horas (seis pontos no total).

Em trabalho semelhante realizado por BIDONE (1997) utilizando “wet blue” (teste de 10 horas), foi possível observar que a partir da 5ª hora, a extração do metal cromo continuou ocorrendo, mas em níveis menores até que, em 7 horas, a extração permaneceu numa faixa

constante. Devido a isto, decidiu-se otimizar o trabalho em 6 momentos de extração, com amostras retiradas de 1 em 1 hora (Fig. 4.8).

Os testes foram realizados por um período de 8 semanas.

MACCHI *et alli* (1991) testaram outros tipos de ácidos, como o nítrico, acético, clorídrico. Como os resultados foram semelhantes, optaram pela utilização do ácido sulfúrico, que é menos volátil e mais abundante.



Figura 4.8- Coleta de amostras em um teste em “aquário”

4.1.2.2. Teste à temperaturas variadas e pH 2,0 constante

De maneira semelhante à anterior, foi realizado novo teste somente para a serragem de couro “wet blue”. Para as outras aparas não foi possível a realização. A cola-solda utilizada (POXIPOL), não resistiu a temperatura de 70° C, provocando vazamentos em grandes proporções, não sendo mais possível o seu concerto em tempo hábil para término da pesquisa.

As temperaturas testadas foram:

- 40°C;
- 50°C;
- 60°C;
- 70°C.

4.1.3. Células piloto de aterro sanitário

Foram construídas duas células piloto de aterro sanitário nas dependências do próprio IPH, com dimensionais de 2,0 X 2,0 X 1,20 m. As células foram preenchidas (de maneira semelhante) com volumes de aparas de couro acabados e semi-acabados e serragem de couro “wet blue” e matéria orgânica (sobras dos restaurantes universitários), na proporção de 1:1 (em volume) e recobertas por uma camada de 0,20 m de saibro.

A matéria orgânica utilizada foi obtida dos restaurantes universitários da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

As células foram construídas de alvenaria, tendo fundo com suave inclinação para um dreno de PVC de 25 mm. Junto ao dreno foi colocada uma pequena camada de brita nº 02. Toda a célula foi revestida com manta BIDIM OP 20, e na parte superior foram colocadas telhas removíveis, para evitar que a chuva penetrasse (Célula 2).

A Célula 2 foi submetida à situação de rega controlada (21L/d), aplicando-se o volume de água correspondente à precipitação média anual de Porto Alegre (1.200mm/ano), enquanto que a Célula 1, foi deixada exposta integralmente à intempérie.

Os líquidos percolados de cada célula (amostras diárias e/ou compostas semanais) foram analisados em termos de pH, cor, condutividade, potencial redox, DQO, ácidos voláteis, amônia, NTK, ST, SV, SF, metais (cromo, cobre, níquel, chumbo, cádmio, ferro, zinco e alumínio) e potássio, magnésio, cálcio e sódio.

Esta etapa teve a duração de 14 semanas (início 16/09/1998) para a Célula 1 e 11 semanas para a Célula 2 (início 17/10/1998). Em ambas as células, as observações foram encerradas em 08/01/1999.

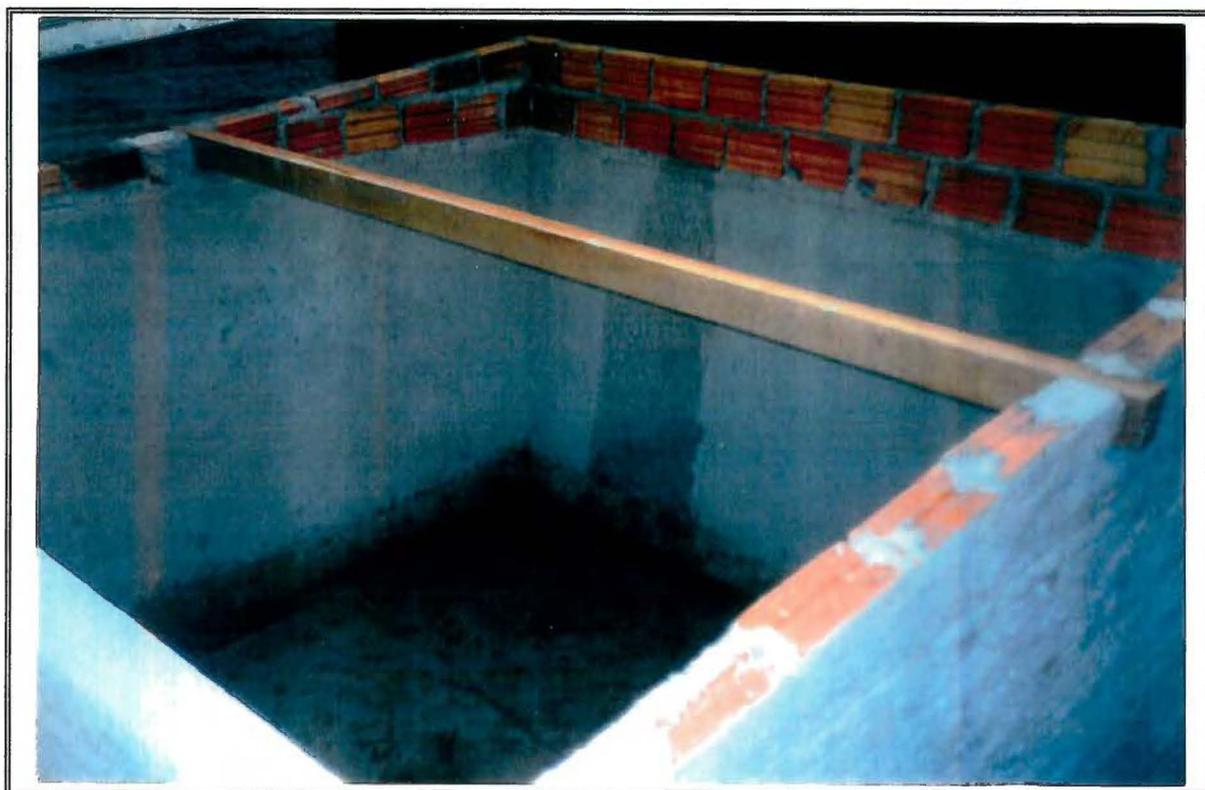


Figura 4.9- Vista interna da célula (antes do preenchimento) (acima)

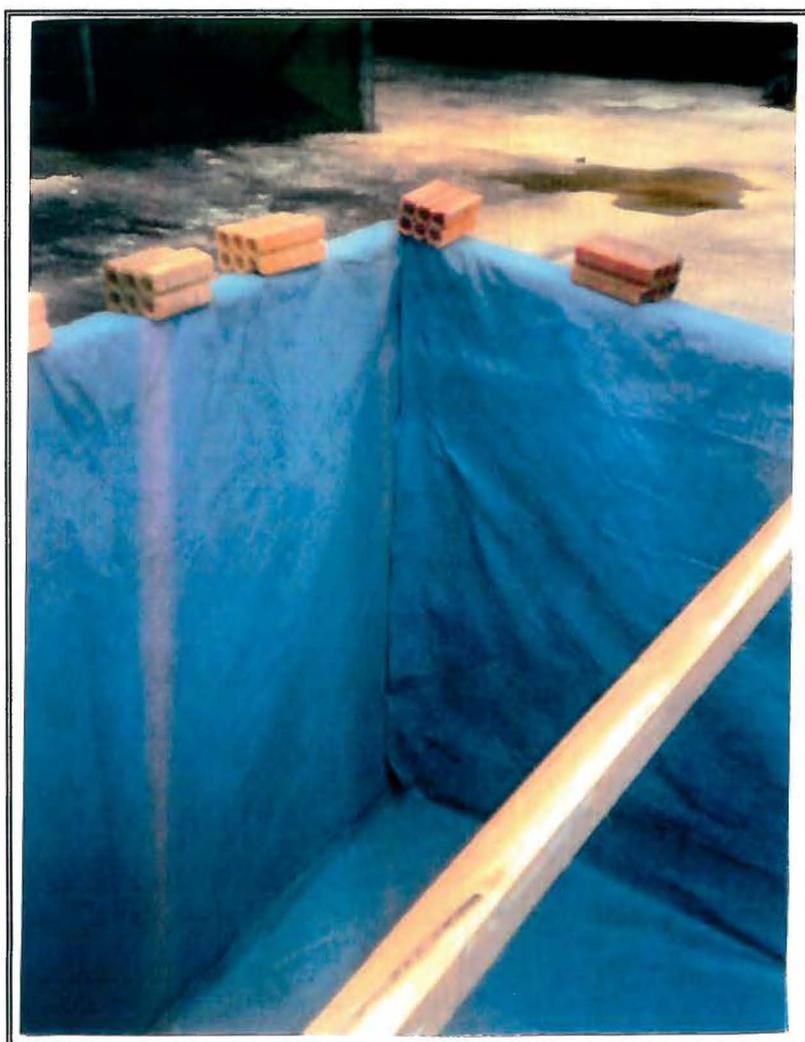


Figura 4.10- Vista do preenchimento da célula com a manta BIDIM (lado)



Figura 4.11- Deposição dos resíduos sólidos (couro) na célula



Figura 4.12- Mistura dos resíduos sólidos com a matéria orgânica



Figura 4.13- Célula pronta e coberta com saibro

4.2. Caracterização dos resíduos sólidos utilizados

Os resíduos sólidos podem ser classificados em três tipos de classes, de acordo com o grau de periculosidade determinado nos testes de lixiviação e de solubilização. Estas classes estão explicitadas na norma brasileira NBR 10.004, da seguinte forma:

- **Resíduo Classe I:** Resíduo considerado perigoso. São perigosos por serem inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos. Independentemente desta classificação, eles podem ser perigosos se eventualmente apresentarem valores superiores para agentes poluentes no ensaio de lixiviação;
- **Resíduo Classe II:** Não inertes. São resíduos que se caracterizam por apresentar ensaios de lixiviação com todos os parâmetros dentro do prescrito pela legislação. Entretanto, apresentam superação dos limites previstos no ensaio de solubilização;
- **Resíduos Classe III:** Inertes. São aqueles que apresentam todos os parâmetros controlados nos ensaios de lixiviação e de solubilização, dentro dos limites prescritos pela NBR 10.004.

De acordo com esta classificação, pode-se ter uma indicação do nível de preocupação ambiental e de exigência do ponto de vista da legislação.

Os cuidados exigidos por um resíduo perigoso, são bem maiores do que os exigidos para resíduos classe II ou III. Os resíduos perigosos devem ser depositados em aterros especiais: os aterros de resíduos industriais perigosos (ARIP), enquanto que os resíduos não inertes e inertes podem ser depositados em aterros de construção mais simples e barata.

4.2.1. Teste de lixiviação

Este ensaio representa o efeito da chuva sobre o resíduo. Tem o objetivo de classificar o resíduo quanto o grau de periculosidade.

O procedimento utilizado é descrito pela norma brasileira ABNT 10.005. Utiliza-se 100 g da amostra de resíduo e 1 L de solução pH $5,0 \pm 0,2$. Agita-se a velocidade constante em aparelho *jar-test* por um período de 24 à 28 horas.

A amostra é filtrada, analisada e os resultados comparados com o Anexo G, lista 7 da norma ABNT 10.004 à pg 59.

4.2.2. Teste de solubilização

Este ensaio consiste na simulação laboratorial de uma percolação através do solo de substâncias extraídas pelo efeito da chuva.

Fornece a classificação do resíduo em INERTE ou NÃO INERTE.

O procedimento utilizado foi de acordo com a norma brasileira ABNT 10.006. Utiliza-se 200 g de amostra seca à 103°C em estufa. A amostra é agitada por 5 minutos no aparelho de *jar test* em solução de pH 6,86 e deixada em repouso por 7 dias. Após, a amostra é filtrada, analisada e seus resultados comparados ao Anexo H, lista 8 à pg. 60 da norma ABNT 10.004.

4.3. Determinação dos parâmetros físico-químicos dos líquidos percolados

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologias Ambientais do IPH e no Laboratório de Solos da Agronomia.

Na tabela 4.1 são descritos os parâmetros analisados, bem como a metodologia aplicada.

Tabela 4.1-Parâmetros físico-químicos analisados nos líquidos percolados dos lisímetros e das células piloto de aterro sanitário

Parâmetro	Unidade	Metodologia (*)
pH	-	eletrométrico
Cor	mg Pt / L	colorimétrico
Turbidez	UNT	turbidímetro MICRONAL (B250)
Condutividade	µmhos / cm	condutivímetro
Potencial redox	-	eletrométrico
DQO	mg O ₂ / L	titulométrico-refluxo fechado
NTK	mg / L - N	digestão, destilação e titulação
Amônia	mg / L - N	digestão, destilação e titulação
Sólidos totais	mg / L	gravimétrico
Sólidos fixos	mg / L	gravimétrico
Sólidos voláteis	mg / L	gravimétrico
Nitrito	mg / L - N	cromatografia iônica
Nitrato	mg / L - N	cromatografia iônica
Fosfato	mg / L - P	cromatografia iônica
Cloretos	mg / L - Cl	cromatografia iônica
Fluoretos	mg / L - F	cromatografia iônica
Sulfatos	mg / L - (SO ₄)	cromatografia iônica
Acidez	mg CaCO ₃ / L	titulação potenciométrica até pH 8,3
Cromo total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Cobre total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Níquel total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Chumbo total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Cádmio total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Ferro total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Zinco total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Alumínio total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido

(*) Metodologia de análises de acordo com APHA *et alli* (1992)

4.4. Classificação dos resíduos orgânicos utilizados

Segundo CETESB (1993) *apud* BIDONE (1995) os resíduos predominantemente orgânicos e biodegradáveis, são classificados como Resíduo Classe II - Não Inertes, não se aplicando a eles o teste de lixiviação previsto pela NBR 10.004.

4.5. Caracterização físico-química dos resíduos orgânicos

As análises físico-químicas dos resíduos orgânicos também foram realizadas no Laboratório de Tecnologias Ambientais do IPH e no Laboratório de Solos da Agronomia.

Na tabela 4.2 são descritos os parâmetros analisados, bem como a metodologia aplicada.

Tabela 4.2-Parâmetros físico-químicos analisados nos resíduos sólidos orgânicos utilizados nas células piloto de aterro sanitário

Parâmetro	Unidade	Metodologia (*)
pH	-	eletrométrico
Densidade real	g / cm ³	titulométrico
Umidade	%	gravimétrico
DQO	g / kg	titulométrico-refluxo fechado
Nitrogênio total de Kjeldhal	%	digestão, destilação e titulação
Sólidos totais	%	gravimétrico
Sólidos fixos	%	gravimétrico
Sólidos voláteis	%	gravimétrico
Fósforo total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Potássio total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Cálcio total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Magnésio total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Cromo total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Cobre total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Níquel total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Chumbo total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Cádmio total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Ferro total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Zinco total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido
Alumínio total	mg / L	EAA ar/acetileno com ataque ácido

(*) Metodologia de análises de acordo com APHA *et alli* (1992)

EAA - Espectrofotômetro de Absorção Atômica

4.6. Análise estatística dos dados

Objetivando a comparação das cargas de cromo lixiviadas dos diferentes tipos de couros e nas diferentes fases de rega a que foram submetidos, realizou-se análise estatística através da utilização da tabela ANOVA-fator único e ANOVA-duplo fator sem repetição. Avaliaram-se as diferenças das médias amostrais para níveis de significância de 1% e 5%, utilizando-se como ferramenta estatística programas computacionais do Microsoft EXCELL 7.0.

Os resultados obtidos foram expostos no Anexo G.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Classificação dos resíduos sólidos de curtume

Os resultados obtidos nos ensaios de lixiviação e de solubilização dos resíduos sólidos de curtume (aparas e serragens de couros) são mostrados nas tabelas A.1 e A.2, respectivamente.

Conforme a Norma Técnica Brasileira ABNT 10.004 (1987a), os resíduos foram considerados como CLASSE I - PERIGOSOS, devido a extrapolação de alguns parâmetros analisados, como fluoretos e o cromo. O valor máximo permitido para o cromo no ensaio de lixiviação é de 5 mg/L, enquanto os obtidos foram valores entre 6,2 e 18 mg/L, com exceção para o lisímetro L5 (marrom acabado - MA) que apresentou valor abaixo do máximo estabelecido. Para fluoretos, somente o lisímetro L6 (verde acabado e branco semi-acabado - VB) extrapolou o valor máximo estipulado em 150 mg/L. Um único valor fora dos limites permissíveis será suficiente para considerar o resíduo como CLASSE I.

Independentemente da classificação dos resíduos como CLASSE I, foi realizado o ensaio de solubilização, visando-se observar a inertização ou não dos mesmos.

Neste ensaio, alguns parâmetros também forneceram valores acima do permitido. Foram eles: fluoretos (máximo permitido de 1,5 mg/L); nitratos (somente para L6 (VB) com valor superior à 10 mg/L); ferro (máximo de 0,3 mg/L) e cromo, obtendo-se valores entre 1,1 e 27 mg/L, onde o limite permitido é de 0,05 mg/L. Estes resultados confirmam que estes resíduos, além de perigosos (CLASSE I) são NÃO INERTES (CLASSE II).

5.2. Caracterização físico-química do percolado gerado nos lisímetros

Os resultados apresentados a seguir são referentes aos três períodos de regas a que foram submetidos os lisímetros. Foram chamados de :

- **Fase 1:** período de 23/02/98 à 22/05/98, utilizando-se para rega água destilada (pH 6,7);
- **Fase 2:** período de 18/08/98 à 23/10/98, utilizando-se água destilada acidulada com ácido sulfúrico 6N a pH 3,0;
- **Fase 3:** período de 27/10/98 à 27/11/98, também com água destilada pH 3,0, somente para L1 (“wet blue” - “wb”).

5.2.1. Fase 1- rega com água destilada pH 6,7

5.2.1.1. Cor aparente (tabela A.3 e figuras D.1 à D.6 e D.25)

O decaimento da cor aparente foi facilmente observado nas figuras D.1 à D.6. Os primeiros percolados foram de tonalidades fortes, indo desde o marrom claro até o verde muito escuro.

No L1 (“wb”), a tonalidade marrom claro não era esperada, já que se tratava de serragem de couro “wet blue”. O fenômeno pode ser explicado pela presença de grande quantidade de fungos (“mofo”), já que o material foi estocado úmido por quatro meses antes da montagem do experimento. O valor máximo detectado foi de 1.500 mg Pt/L.

Na 4ª semana, a coloração diminuiu abruptamente, apresentando a tonalidade azul claro característica de lixiviados de couro “wet blue”. No final da 8ª semana (54º dia), não mais foi detectada cor neste lisímetro.

O valor máximo de cor aparente encontrado nos percolados dos lisímetros foi de 12.000 mg Pt/L nos lisímetros L2 (preto semi-acabado - PSA) na 4ª semana (22º dia) e no L6 (VB) na 2ª semana (9º dia); em L3 (preto acabado - PA) o valor máximo foi de 3.000 mg Pt/L na 6ª semana (37º dia); 10.000 mg Pt/L no L4 (marrom semi-acabado - MAS) na 6ª semana (36º dia) e 8.000 mg Pt/L no L5 (MA) na 2ª semana (9º dia).

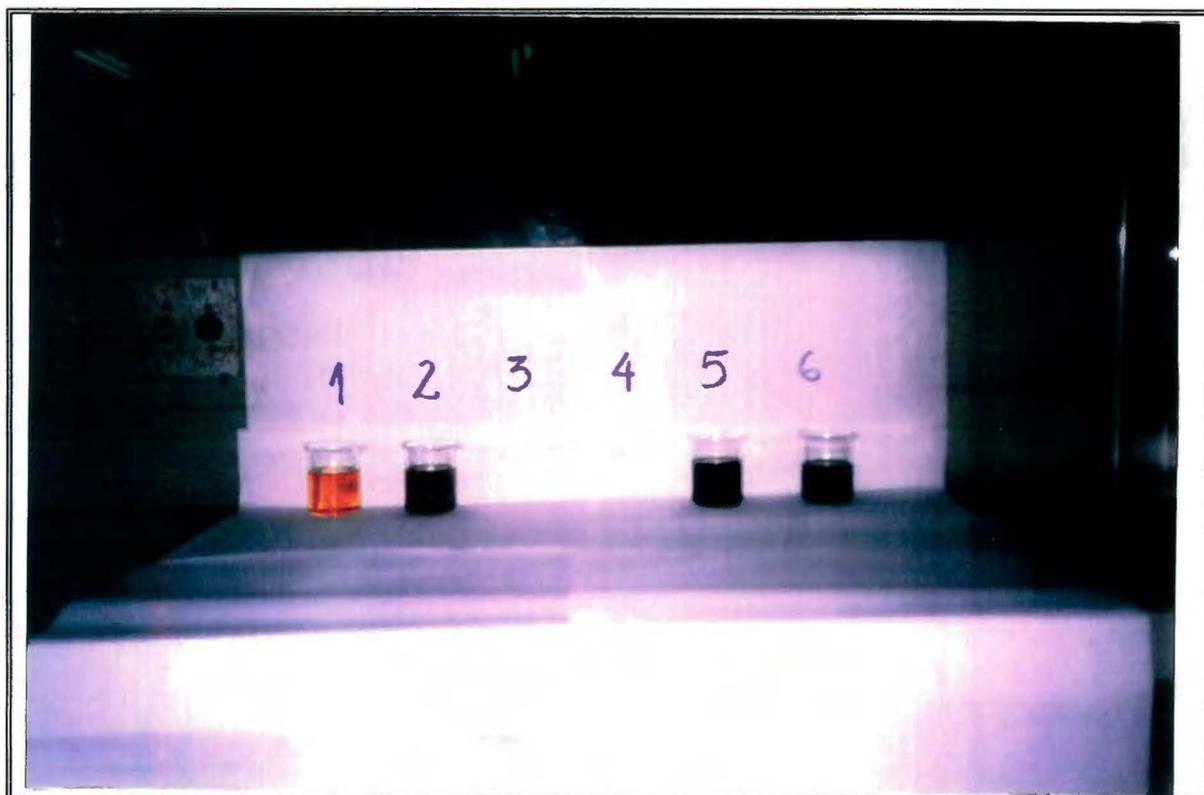


Figura 5.1- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 9º dia - Fase 1



Figura 5.2- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 17º dia - Fase 1

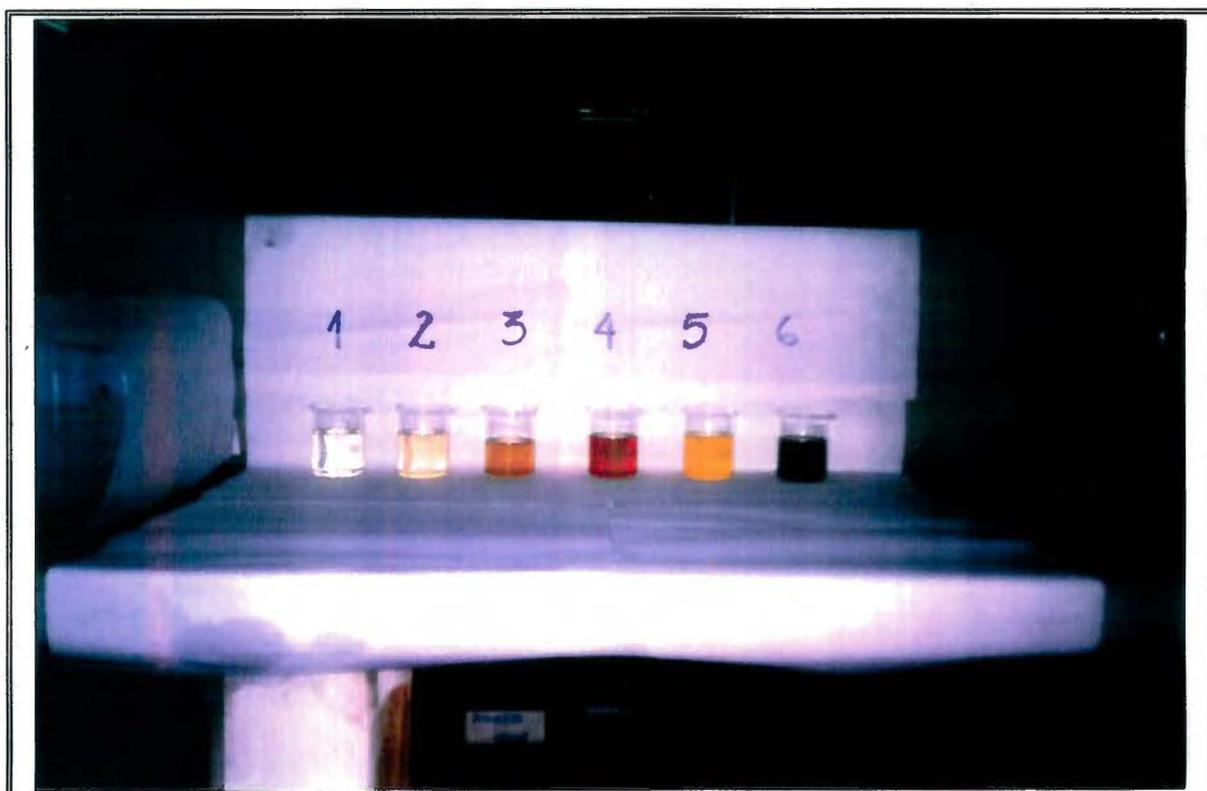


Figura 5.3- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 37º dia - Fase 1



Figura 5.4- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 54º dia – Fase 1



Figura 5.5- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 67º dia - Fase 1

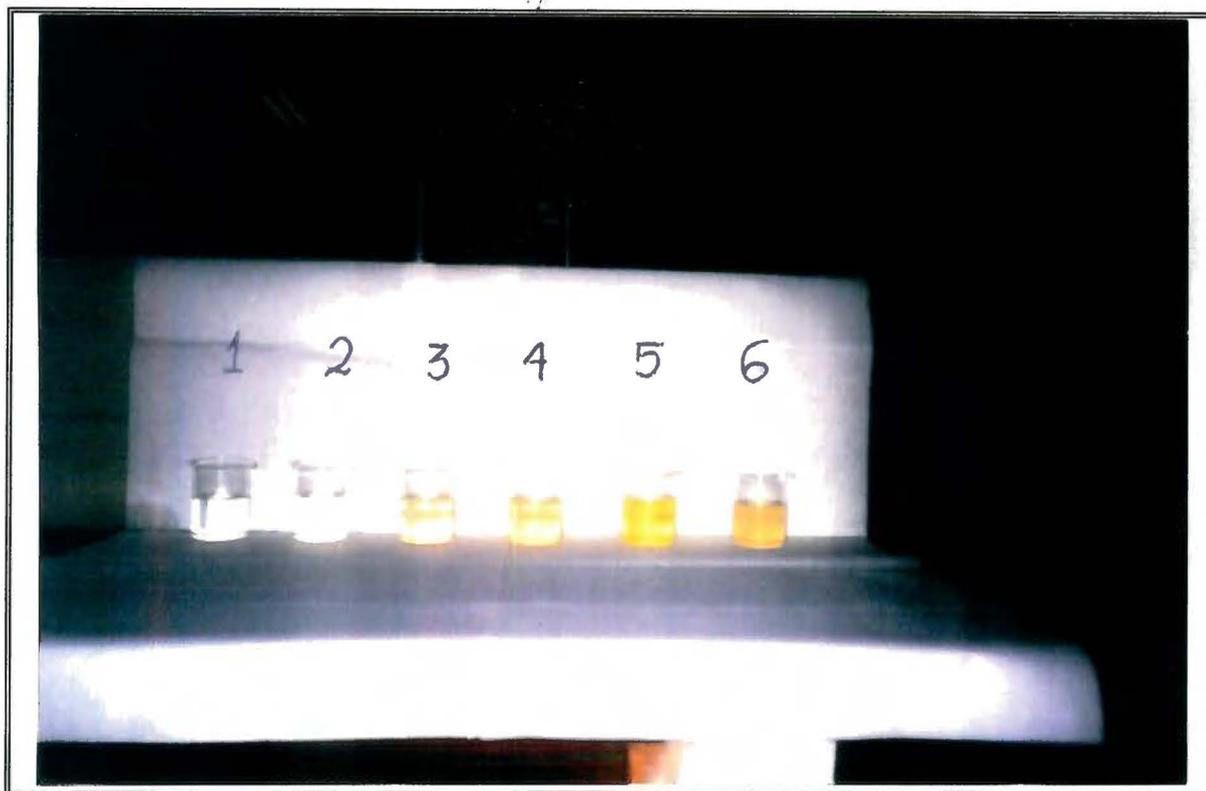


Figura 5.6- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 89º dia - Fase 1

Normalmente, os corantes utilizados em couros curtidos ao cromo são solúveis em água e pH elevados, sendo fixados em pH ácido. A diminuição dos valores de cor aparente estão diretamente ligados à baixa do pH, que chegou a atingir valores próximos ao de fixação (abaixo de 6,0).

5.2.1.2. Turbidez (tabela A.4 e figuras D.7 à D.12 e D.26)

A turbidez dos percolados é atribuída a presença de partículas sólidas em suspensão.

A análise do parâmetro turbidez forneceu resultados bem variados. Possivelmente pela interferência da coloração do percolado. Também o fato de que a rega sendo feita de segunda à sexta-feira, observou-se que às segundas-feiras a turbidez foi maior que dos dias subsequentes. Também após o período de intumescimento do couro (em torno de 6 semanas para a maioria dos couros), a turbidez se elevou por um curto período (uma semana), decaindo após novamente.

No L6 (VB) ocorreu um pico máximo repentino (54º dia) provocado pela liberação dos óxidos de zinco e alumínio presentes no couro semi-acabado branco. O percolado coletado neste período (43º ao 61º dia) apresentou uma coloração verde leitosa com um fino precipitado branco ao fundo do frasco coletor.

5.2.1.3. Potencial hidrogeniônico (tabela A.5 e figuras D.13 à D.18)

Durante o desenvolvimento da Fase 1, pode-se considerar que o pH da água destilada (pH 6,7) utilizada para a rega manteve-se na faixa de pH neutro.

Valores elevados de pH foram encontrados nos lisímetros L2 (PSA) a L6 (VB), provavelmente ocasionados pela liberação dos corantes utilizados.

Os corantes solúveis em meio aquoso possuem na estrutura da molécula grupos solubilizantes como $-\text{SO}_3\text{H}$ e $-\text{COOH}$ (corantes ácidos) que facilitam a liberação de outros grupos presentes como aminas e $-\text{OH}$, responsáveis pela elevação do pH do meio onde se encontram (HOINACKI,1989).

Para L1 (“wb”), passada a fase de intumescimento, o pH diminuiu como era o esperado para este tipo de resíduo, permanecendo em valores entre 3,0 e 3,4, valores estes utilizados no processo de curtimento ao cromo. Nos outros lisímetros o pH manteve-se na faixa neutra, próximo da água destilada.

5.2.1.4. Condutividade (tabela A.6 e figuras D.19 à D.24 e D.27)

Para todos os lisímetros, a alta condutividade foi relacionada com a presença de elevadas concentrações de sais, principalmente dos cloretos. BATALHA (1977) estabeleceu uma relação entre a condutividade e os sais em que cada 1.000 mg/L de sais dissolvidos equivalem a 1.500 $\mu\text{mhos/cm}$ de condutividade.

No L1 (“wb”), a elevada presença de cloretos contribui para a alta condutividade. Os cloretos são adicionados na etapa anterior ao curtimento (piquelagem). Como o “wet blue” não possui alguma forma de acabamento, estes íons são facilmente solubilizados. O valor máximo observado para este lisímetro foi de 21.500 $\mu\text{mhos/cm}$ no 9º dia.

Para os demais lisímetros, além de cloretos, outros íons responsáveis pela condutividade foram os sulfatos e nitratos, que são adicionados em etapas posteriores ao curtimento (etapa de neutralização). Os valores máximos encontrados para os lisímetros foram: 4.100 $\mu\text{mhos/cm}$ para o L2 (PSA) no 30º dia; 20.000 $\mu\text{mhos/cm}$ para L3 (PA) no 38º dia; 28.500 $\mu\text{mhos/cm}$ para L4 (MAS) no 37º dia; 2.500 $\mu\text{mhos/cm}$ par L5 (MA) no 15º dia; 11.000 $\mu\text{mhos/cm}$ para L6 (VB) no 37º dia.

Da mesma forma que a turbidez (tabela A.4, Figuras D.12 e D.26), no L6 (VB) ocorreu um aumento brusco na condutividade, talvez devida aos íons presentes no couro

branco. Nos outros lisímetros ocorreu gradativa diminuição de valores, ocasionada pela “lavagem” dos couros durante a rega.

5.2.1.5. Volumes percolados (tabela A.7)

Os volumes percolados pelos lisímetros foram pequenos no início (ou até inexistentes para alguns) nas primeiras semanas. A percolação ocorreu à medida que o couro foi intumescendo. Depois, os valores mantiveram-se praticamente constantes durante cada fase.

5.2.1.6. Demanda Química de Oxigênio (tabelas A.8 à A.11 e figuras A.72 à A.75)

A DQO nos percolados dos lisímetros foi relacionada com os corantes. Observa-se nas tabelas A.8 e A.9 que a maior carga de DQO total está presente nos lisímetros L3 (PA) (11.550 mg O₂/L) e L4 (MAS) (13.400 mg O₂/L) que foram os que apresentaram maior cor aparente. Igualmente aos outros parâmetros, os valores de DQO diminuíram, não a níveis ideais, mas menores que os iniciais.

5.2.1.7. NTK, nitritos e nitratos (tabelas A.12 e A.13, A.17 e A.18)

Os nitritos e nitratos foram detectados em pequenas quantidades nos percolados dos lisímetros, devendo os valores de NTK e amônia estarem relacionados com os corantes.

Segundo HOINACKI (1989), os corantes utilizados para o couro curtido ao cromo são de três tipos: corantes ácidos, diretos (também chamados de azóicos) e os especiais. Os corantes ácidos são adicionados em pH altos obtidos com a adição de soluções amoniacais e, após, fixados em pH baixos (pH 2,5) com ácidos orgânicos, como fórmico e acético por exemplo. Já os corantes diretos diferenciam-se dos anteriores pelo pH de fixação que é em torno de 6,0. Todos os corantes apresentam em sua estrutura básica aminas (responsáveis pela fixação do corante ao colagênio), anéis aromáticos e Na (SO₃)⁻. A presença de aminas justifica a existência de NTK e amônia nos percolado das células e NTK nos percolado dos lisímetros.

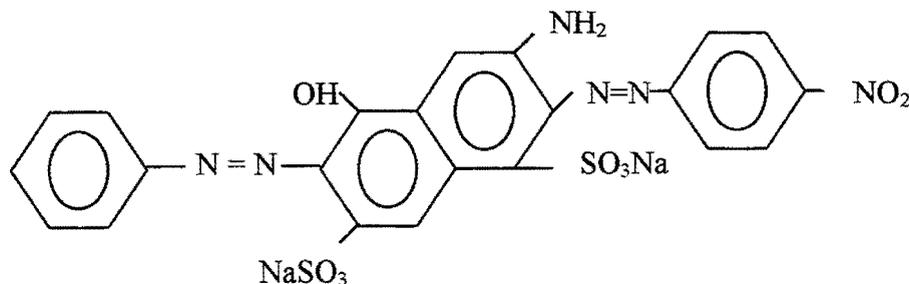


Figura 5.7- Exemplo da estrutura de um corante ácido
(Fonte: HOINACKI, 1989)

O valor máximo de concentração para os nitritos foi de 1,7 mg/L no L1 (“wb”) enquanto que para nitratos, o valor máximo foi de 17 mg/L também no L1 (“wb”). Nos outros lisímetros, os valores mantiveram-se abaixo de 0,24 mg/L para nitritos e 4,6 mg/L para nitratos.

5.2.1.8. Sólidos totais, fixos e voláteis (tabelas A.20 à A.22)

Foram encontradas baixas concentrações de sólidos que podem estar relacionados com poeiras existentes nos lisímetros, mesmas constatadas pela turbidez. Por estarem em pequena concentração, não se pode relacionar os sólidos presentes com sais dissolvidos, como BATALHA (1977) sugere para valores acima de 500 mg/L.

5.2.1.9. Cloretos, fluoretos, fosfatos e sulfatos (tabelas A.14 à A.16 e A.19)

Dos íons analisados, os cloretos são os de maior expressão, pois são os responsáveis pelo controle da quantidade de água presente nas fibras do colagênio durante o processo de piquelagem.

O cloreto de sódio é adicionado na forma de “sal grosso”, fornecendo condições ideais para que o agente curtente (neste caso o Cr III), por difusão, penetre na fibra. A quantidade adicionada é tal que sejam atingidos 6° Bé. Por isto está presente em todas as aparas de couro aqui utilizadas. A concentração máxima foi de 4.760 mg/L no L1 (“wb”).

Os sais de flúor (tabela A.15) não são adicionados durante o processo de curtimento. Podem ser oriundos das águas de abastecimento público (<1,0 mg/L) que são utilizadas (além de poços) durante todo o processo e de certos tipos de corantes. O valor máximo detectado foi de 18 mg/L no L3 (PA).

Os polifosfatos podem ser adicionados como pré-curtentes na quantia de 1 à 1,5%. Favorecem a absorção e distribuição do cromo colaborando para uma flor mais fina (maior valor comercial) e fechada (HOINACKI,1989). Esta pode ser a origem de fosfatos nos percolados. A concentração máxima (tabela A.16) foi de 11 mg/L para o L6 (VB). Após a 10ª semana não foi mais detectado.

Sulfato de amônio é universalmente utilizado como agente desengalante. Ocorre uma troca do íon amônio com o cálcio existente nas fibras de colagênio. Comprova-se aí o porquê da existência de íons sulfato. Uma maior concentração deste íon pode ser explicado pela sua presença na constituição dos corantes utilizados (presença de radicais Na_2SO_3^-). O valor

máximo no L1 (“wb”) foi de 472 mg/L na 6ª semana e de 1.272 mg/L para o L3 (PA) na 7ª semana.

5.2.1.10. Metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, ferro , níquel e zinco (tabelas A.23 à A.26; A.29 à A.31)

A presença destes metais pode estar associada a composição dos corantes, bem como pela contaminação (durante o processo de curtimento) dos próprios fulões utilizados (ferrugem, por exemplo), tubulações antigas (de ferro, chumbo e cobre), bem como das máquinas de dividir e lixar (ferrugem e fragmentos das lâminas da máquina de dividir enquanto estão sendo afiadas).

Os valores máximos encontrados foram: alumínio (1,8 e 1,5 mg/L) para os lisímetros L4 (MAS) e L5 (MA) respectivamente; cádmio 0,06 mg/L para L4 (MAS) e L6 (VB); chumbo 0,75 mg/L para L6 (VB); cobre 0,16 mg/L para L3 (PA); ferro 3,5 mg/L para L4 (MAS); níquel de 0,03 mg/L para L1 (“wb”) e zinco com 3,25 mg/L no L6 (VB).

5.2.1.11. Cromo (tabelas A.27 e A.28; figuras D.55 à D.60, D.68 e D.70)

De acordo com análises realizadas por SOUZA (1999), não foi detectada a presença de Cr VI. Levando em conta esta observação, foi considerado que todos os valores fornecidos são de Cr III. (os resíduos sólidos - serragem de couro “wet blue” - utilizados foram os mesmos).

A concentração de cromo máxima lixiviada nos lisímetros foi bem variada: 27,1 mg/L no L1 (“wb”); 1,6 mg/L para L2 (PSA); 40 mg/L para L3 (PA); 33 mg/L para L4 (MAS); 1,8 mg/L para L5 (MA) e 16,4 mg/L para L6 (VB). Cada tipo de artigo a ser confeccionado utiliza uma maior ou menor quantidade de cromo. O grau de acabamento também influi na liberação ou não do mesmo. Por exemplo, as tintas, ceras e resinas formam uma barreira à saída do cromo, prova disto é que no L1 (“wb”) o cromo foi lixiviado em maior quantidade que nos outros lisímetros.

É o que pode ser observado no balanço de massa na tabela B.18. O total lixiviado para L1 (“wb”) foi de 1% enquanto que para os outros lisímetros, as porcentagens lixiviadas foram de 0,04% para L2 (PSA); 0,1% para L3 (PA) e L4 (MAS); 0,03% para L5 (MA) e 0,05% para L6 (VB).

5.2.2. Fase 2- rega com água destilada acidulada pH 3,0

5.2.2.1. Cor aparente (tabela A.33 e figuras D.28 à D.33 e D.52)

Na Fase 2, os valores máximos que ocorreram na primeira semana de rega foram de 30 mg Pt/L para L1 (“wb”), 400 mg Pt/L para L5 (MA) e 600 mg Pt/L para L6 (VB). Nos lisímetros L2 (PSA), L3 (PA) e L4 (MAS), os valores máximos observados foram de 160, 200 e 160 mg Pt/L (respectivamente) na 2ª semana (9º dia). Como na Fase 1, ocorreu uma diminuição nos valores da cor aparente. A cor, nesta fase foi menor devido à esta estar relacionada ao pH do percolado. Quanto menor o pH, menor a quantidade de cor solubilizada, pois os corantes são fixados em pH menores que 6,0. No “wet blue” (L1) ocorreu novamente a coloração inicial marrom claro e, mais uma vez foi observada a presença de fungos. Entre esta fase e a anterior, o material úmido ficou sem tratamento por três meses. Na 2ª semana, não mais foi detectada cor neste lisímetro.

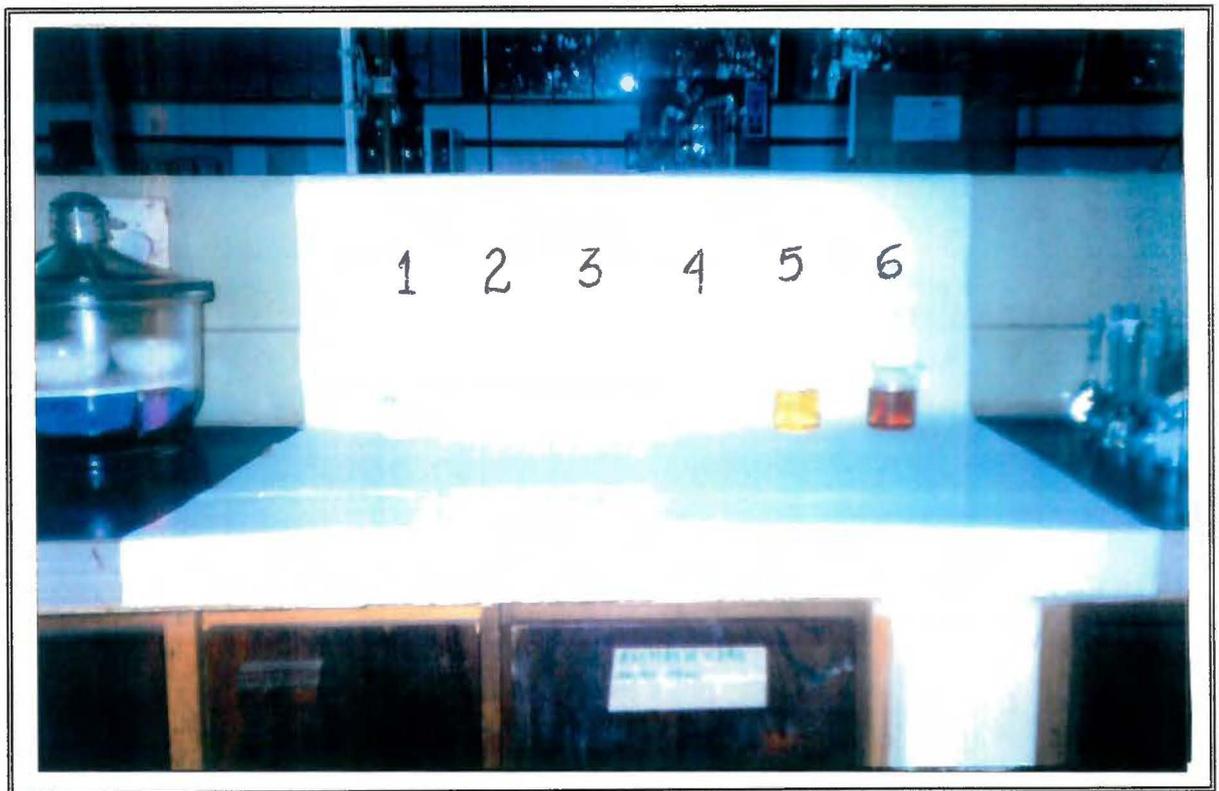


Figura 5.8- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 3º dia - Fase 2

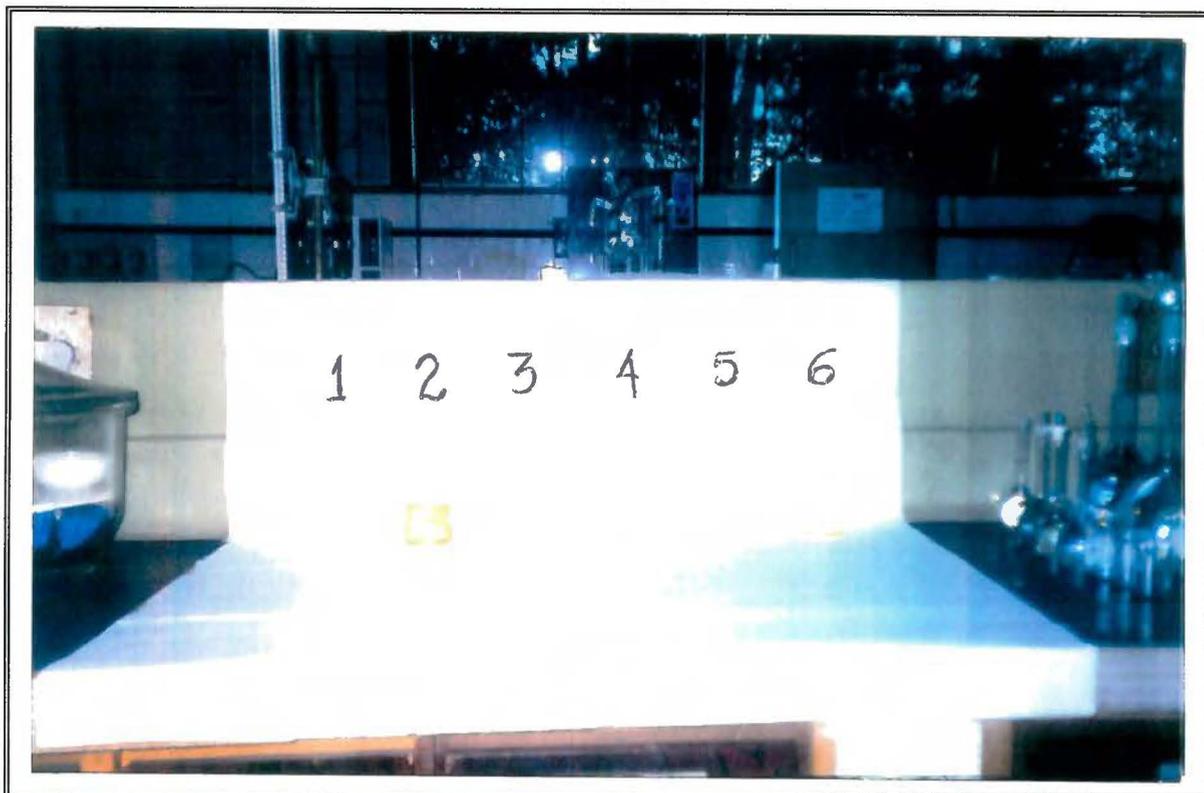


Figura 5.9- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 11º dia - Fase 2

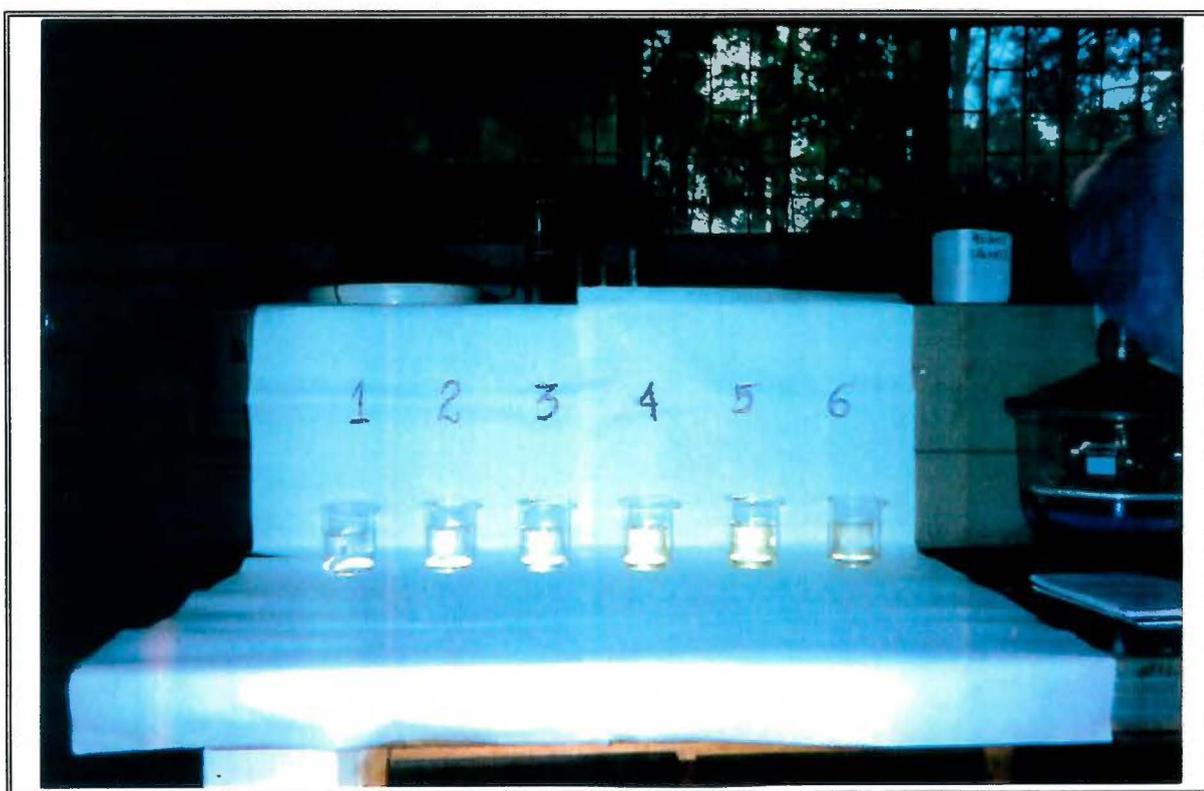


Figura 5.10- Variação da cor nos percolados dos lisímetros no 66º dia - Fase 2

5.2.2.2. Turbidez (tabela A.34 e figuras D.34 à D.39 e D.53)

Como na Fase 1, a turbidez variou bastante. Poderá ter ocorrido interferência da cor na medição da turbidez. Os valores máximos ocorreram no 1º dia de percolação de cada lisímetro (menos para o L2 (PSA) que foi no 22º dia). Estes valores diminuíram gradativamente, com a constante lixiviação dos materiais finos.

5.2.2.3. Potencial hidrogeniônico (tabela A.35 e figuras D.40 à D.45)

Apesar da rega ter sido feita com água destilada a pH 3,0, os lisímetros L3 (PA) à L6 (VB) mantiveram os valores na faixa neutra. Acredita-se que este comportamento pode ter sido provocado pelo forte efeito tampão dos sulfatos presentes, bicarbonatos e carbonatos oriundos do processo de neutralização e corantes presentes. No L2 (PSA) houve a diminuição do pH, mas não a valores iguais a solução de rega. No L1 (“wb”) os valores mantiveram-se baixos (semelhantes ao utilizado no processo de curtimento), independente do pH de rega.

5.2.2.4. Condutividade (tabela A.36 e figuras D.46 à D.51 e D.54)

Os valores de condutividade observados foram menores que na fase anterior, embora que inicialmente altos.

Para o L1 (“wb”) a condutividade foi de 8.000 µmhos/cm no 1º dia; 490 µmhos/cm no 15º dia para L2 (PSA); 2.000 µmhos/cm no 9º dia para L3 (PA); 1.000 µmhos/cm no 9º dia para L4 (MAS); 1.500 µmhos/cm no 3º dia para L5 (MA) e 2.100 µmhos/cm para L6 (VB) no 1º dia. Os valores iniciais podem ter sido incrementados pela presença do ácido sulfúrico utilizado para o acerto do pH de rega.

5.2.2.5. Volumes percolados (tabela A.32)

Os volumes foram pequenos na 1ª semana, mas logo a partir da 2ª semana, manteve-se constante até o final da Fase 2.

Nesta fase, o intumescimento foi rápido, mesmo tendo permanecido por três meses sem rega. Provavelmente no interior dos lisímetros, as aparas de couro mantiveram-se em grande parte úmidas, facilitando o processo.

5.2.2.6. Metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, ferro, níquel e zinco (tabelas A.37 à A.40; A.43 à A.45)

Nesta fase os valores de concentração foram baixos e, para alguns metais como cádmio, chumbo, cobre e níquel foram inexistentes (não detectados).

Para o alumínio o valor máximo detectado foi de 2,9 mg/L na 8ª semana. Acredita-se que o pH baixo solubilizou este metal, pois em vez de diminuir a concentração, ocorreu o inverso. Nos lisímetros L1 (“wb”) e L2 (PSA), a presença de ferro foi mais fortemente detectada, apesar de valores pequenos. O valor máximo foi de 2,4 mg/L para o L1 (“wb”) na 7ª semana e 0,3 mg/L no L2 (PSA) na 2ª e 7ª semana. Nos outros lisímetros, valores muito pequenos.

Para o zinco, os maiores valores detectados foram no L6 (VB) (0,7 mg/L na 2ª semana) em função da presença da apara de couro branco que contém óxido de zinco. O pH ácido deve ter solubilizado este metal. Nos outros lisímetros, os valores foram de 0,1 mg/L para quase todas as semanas.

5.2.2.7. Cromo (tabelas A.41 e A.42 e figuras D.61 à D.66 e D.69)

Nesta fase comprovou-se a importância da presença de acabamento na liberação ou não de cromo.

Como já foi comentado para a Fase 1, o cromo é mais facilmente lixiviado à pH baixos (em torno de 3,0). Isto pode ser observado no lisímetro L1 (“wb”). Os resíduos ali depositados não possuíam acabamento favorecendo a lixiviação do metal, enquanto que para os outros resíduos com alguma forma de acabamento, diminuíram ou mantiveram valores baixos próximos à 0,5 mg/L (valores permitidos pela Portaria nº 5 da SSMA para lançamento de efluentes líquidos). A porcentagem lixiviada de cromo para o L1 (“wb”) foi de 0,45% de acordo com a tabela B.18, enquanto que para os outros lisímetros o máximo foi de 0,02% para o L2 (PSA) (manteve-se semelhante à fase anterior). Os lisímetros L3 (PA) à L6 (VB) diminuíram consideravelmente a porcentagem de cromo lixiviada.

5.2.3. Fase 3- rega com água destilada acidulada pH 3,0

A Fase 3 foi realizada somente para o lisímetro L1 (“wb”), com o objetivo maior de observar o comportamento da lixiviação do cromo com a continuação da rega ácida. Os valores dos parâmetros físicos não tiveram mudanças.

5.2.3.1. Cor aparente (tabela A.46)

Nesta etapa, a cor aparente não foi detectada no L1 (“wb”).

5.2.3.2. Turbidez (tabela A.46)

A turbidez para L1 (“wb”) manteve-se em valores entre 3,2 e 1,3 UNT, praticamente como na fase anterior.

5.2.3.3. Potencial hidrogeniônico (tabela A.46)

Também este parâmetro permaneceu como na fase anterior em valores entre 3,2 e 3,7.

5.2.3.4. Condutividade (tabela A.46)

Nesta etapa a condutividade manteve-se entre 1.100 e 1.600 μ mhos/cm.

5.2.3.5. Metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, ferro, níquel e zinco (tabela A.47)

Somente o alumínio e o ferro foram detectados nesta fase. O valor máximo para o alumínio foi de 0,4 mg/L na 1ª semana e de 0,4 mg/L para o ferro também na 1ª semana.

5.2.3.6. Cromo (tabela A.48)

Na Fase 3 o cromo continuou a lixiviar em grande quantidade. O valor máximo observado de concentração foi de 41,4 mg/L na 4ª semana. A porcentagem de cromo lixiviada nesta fase foi de 0,26% em apenas 5 semanas de teste.

5.3. Caracterização da matéria orgânica utilizada nas células piloto de aterro sanitário (tabela C.2)

Na tabela C.2, pode-se observar pequena quantidade de metais presentes que podem ser oriundos do material de preparo e acondicionamento dos alimentos utilizados no experimento.

Grandes porcentagens de nitrogênio e sólidos voláteis foram detectados, o que confirma a presença de material orgânico. Identicamente, grandes quantidades de íons, como sódio, cálcio, magnésio foram detectadas.

5.4. Caracterização físico-química dos lixiviados gerados nas células piloto de aterro sanitário

Duas células piloto de aterro sanitário foram construídas e monitoradas de maneira semelhante, mas com tratamento diferenciado.

A Célula 1, montada em 17/09/98 foi exposta à intempérie enquanto que a Célula 2, montada em 23/10/98, foi mantida fechada e simulada sobre a mesma a precipitação média anual da cidade de Porto Alegre (1.200 mm/ano).

5.4.1. Cor aparente (tabelas C.3 e C.4 e figuras E.2, E.6 e E.10)

A cor inicial da Célula 1 foi de 2.500 mg Pt/L. Apresentou uma tonalidade cinza no 1º dia e verde escuro a partir do 2º dia. Manteve-se com esta tonalidade até o 19º dia.

Devido à pequena precipitação no período (tabela C.1), a célula parou de gerar percolado, retornando só no 84º dia, apresentando cor e odor característico de um processo recente anaeróbio. A coloração foi cinza grafite, mantendo-se assim, até o final, só diminuindo a intensidade.



Figura 5.11- Coloração do percolado na Célula 1 no 1º dia após a montagem (18/09/98)

Na Célula 2 o valor máximo de cor aparente ocorreu no 7º dia com 5.000 mg Pt/L. Desde o início, a coloração manteve-se em tom verde, diminuindo gradativamente a intensidade até o final do experimento. Esta coloração é característica da presença de altas concentrações de cromo lixiviadas, além dos corantes que fornecem tonalidades mais escuras ao verde.

O comportamento da cor aparente do percolado da Célula 2 (rega controlada) foi bem mais estável que o da Célula 1 (intempéries), devido a rega com valores constantes sobre a mesma.

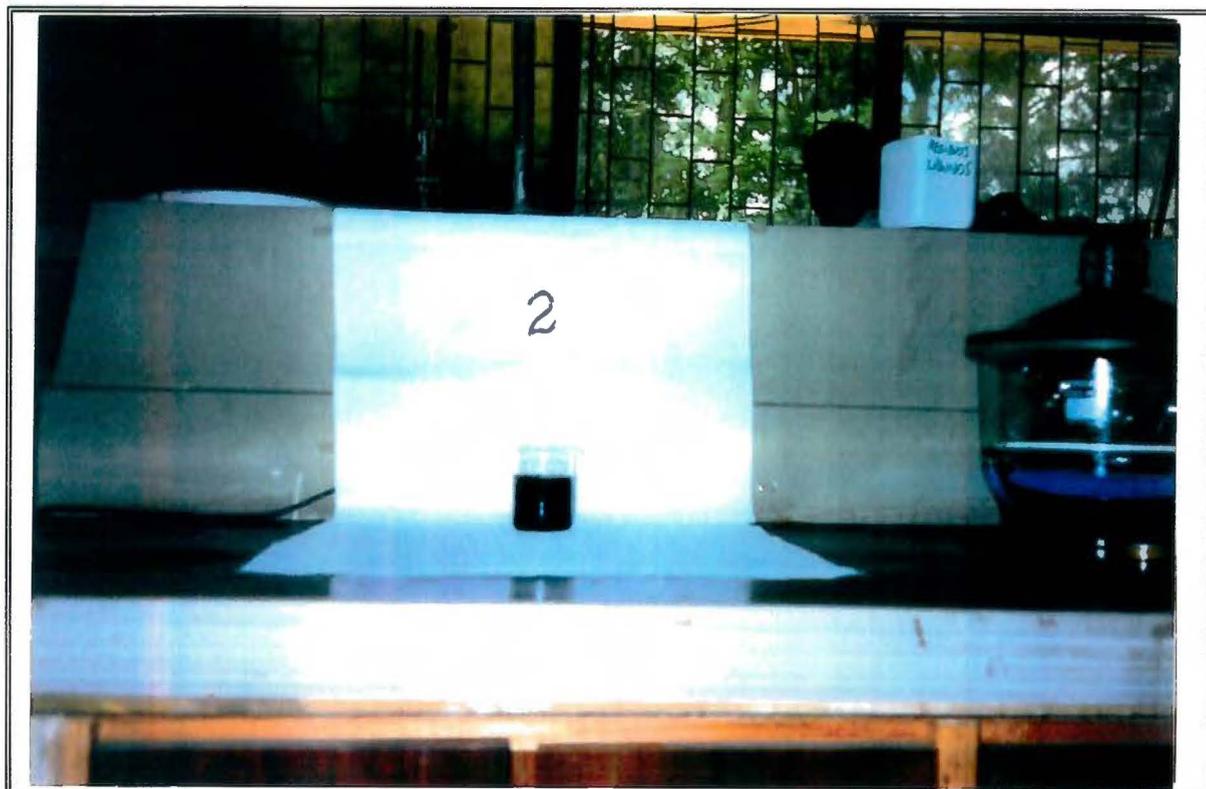


Figura 5.12- Coloração do percolado na Célula 2 no 1º dia após montagem (24/10/98)

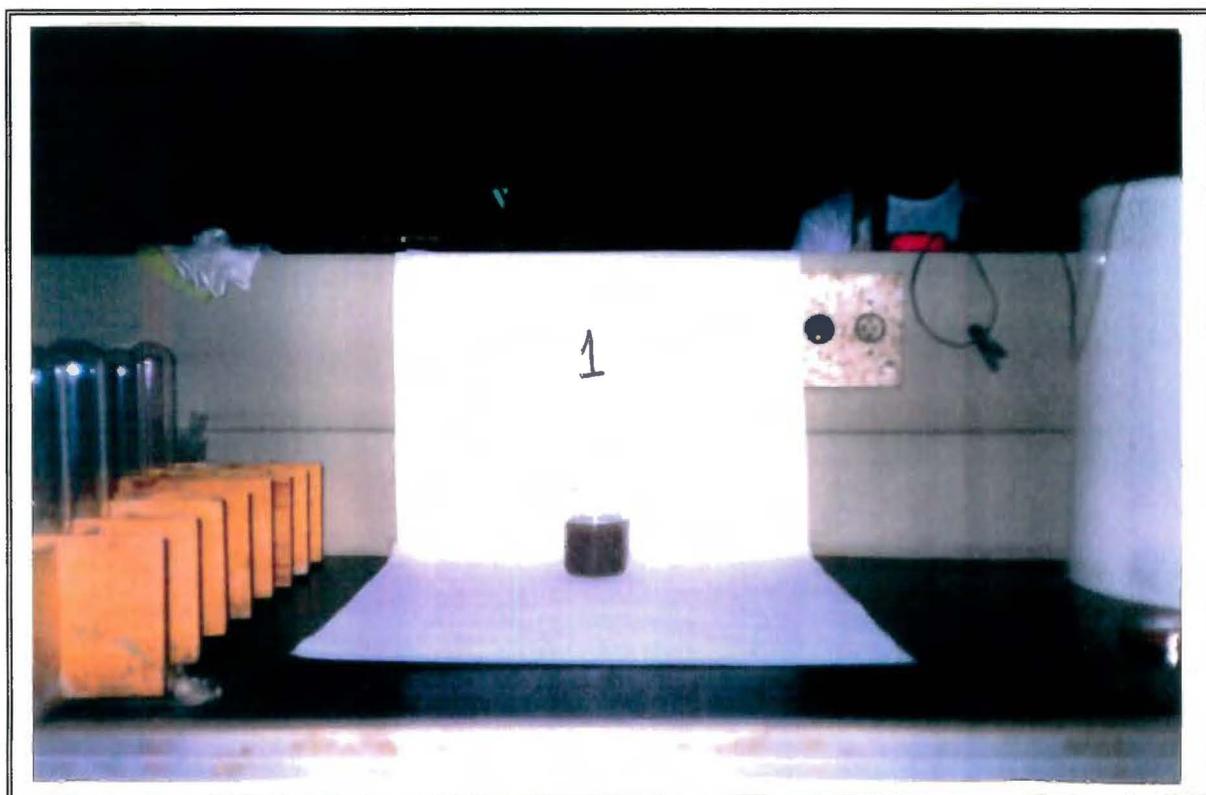


Figura 5.13- Coloração do percolado na Célula 1 no 100º dia

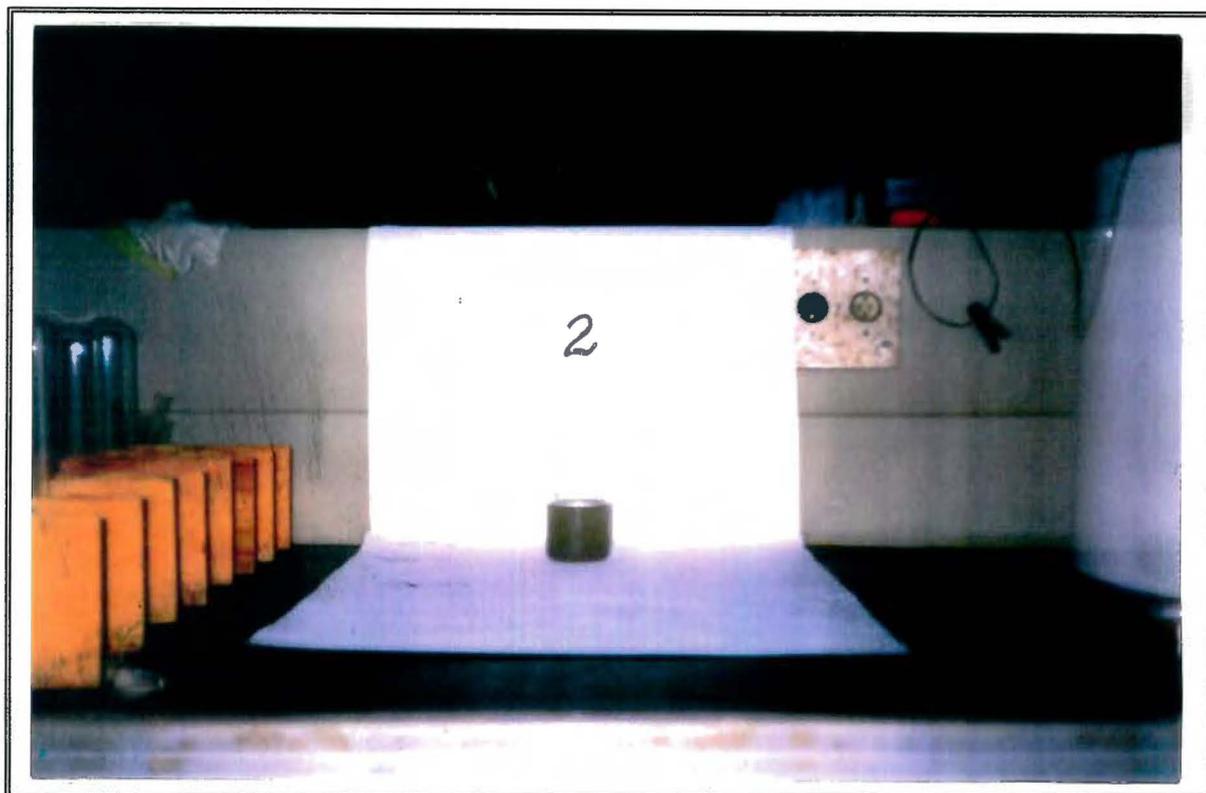


Figura 5.14- Coloração do percolado na Célula 2 no 74º dia

5.4.2. Potencial hidrogeniônico (tabelas C.3 e C.4 e figuras E.3 e E.7)

Os valores iniciais foram baixos (4,3) como já era o esperado, pois nas análises do material orgânico, o pH determinado foi de 3,4 para a Célula 1 e 4,5 para a Célula 2.

Também a grande quantidade de couro “wet blue” (praticamente a metade da quantidade total colocada de couro em cada célula) com pH em torno de 3,4, contribuíram para o pH baixo. Alta acidez foi verificada.

Com a diminuição de acidez (tabelas C.17 e C.18) pelo indício da presença de um processo anaeróbio, a liberação de corantes com radicais OH^- e NH_2^- (quimicamente considerados base forte e base fraca, respectivamente), proporcionou um aumento gradual do pH de 4,3 para 5,8 no 19º dia e para 6,3 após 84 dias, mantendo-se até o final na faixa de 6,6 para a Célula 1, enquanto que na Célula 2, este valor levou um maior tempo para aumentar devido a grande geração de ácidos voláteis. O pH 6,0 só foi atingido em 64 dias, mantendo-se até o final com valores em torno de 5,5, o que caracteriza que o processo anaeróbio estava ocorrendo com maior dificuldade que na Célula 1.

5.4.3. Potencial redox (tabelas C.3 e C.4 e figuras E.4 e E.8)

Nas figuras E.4 e E.8 são mostradas a presença do processo anaeróbio nas células.

Valores negativos comprovam o processo e podem ser observados no 19º dia (-34) para a Célula 1 e 48º dia (-239) para a Célula 2. Quando o processo anaeróbio atinge o equilíbrio (estabilidade), os valores do potencial redox podem chegar a -600.

5.4.4. Condutividade (tabelas C.3 e C.4; figuras E.5, E.9 e E.11)

Valores altos de condutividade foram observados nas duas células. O valor máximo para a Célula 1 foi de 17.000 $\mu\text{mhos/cm}$ no 16º dia enquanto que para a Célula 2 foi de 24.000 $\mu\text{mhos/cm}$ no 1º dia.

O comportamento foi diferente entre as duas células. Na Célula 1 a condutividade aumentou num primeiro momento, talvez devido a dissolução de sais presentes em grande quantidade oriundos tanto da matéria orgânica quanto do resíduo sólido. Já na Célula 2, a condutividade diminuiu gradativamente, talvez pelo grande volume de líquido aplicado que, de uma certa forma “lavou” a célula. Os sais foram eliminados mais rapidamente.

O valor mínimo observado foi de 13.100 $\mu\text{mhos/cm}$ para a Célula 1 e 4.500 $\mu\text{mhos/cm}$ para a Célula 2.

5.4.5. Volumes percolados (tabelas C.3 e C.4)

Os volumes percolados para a Célula 1 foram muito pequenos comparados à Célula 2.

Na Célula 1 o líquido gerado durante o processo somado à água da chuva (tabela C.1) foram inicialmente absorvidos pelas aparas e serragens de couro depositadas na célula. O volume total percolado durante o período foi de aproximadamente 65 L, enquanto que para a Célula 2 foi de 370 L. Para a Célula 2, o volume não representa o real, pois grande parcela percolou pela parte inferior da parede. O volume utilizado na rega da Célula 2 de 21 L/dia retardou o processo anaeróbio. Pareceu ter ocorrido um arraste dos materiais e uma grande geração de ácidos voláteis, o que dificultou o desenvolvimento natural das bactérias anaeróbias presentes, e conseqüentemente o andamento do processo anaeróbio.

Como na Célula 1, o volume de rega (água de chuva) foi muito pequeno, o processo anaeróbio parece ter iniciado o desenvolvimento sem maiores dificuldades.

5.4.6. Demanda Química de Oxigênio (tabelas C.5 e C.6; figuras E.12 à E.15)

Os valores máximos de DQO observados para as células foi de $\approx 40.000 \text{ mg O}_2/\text{L}$ na 3ª semana para a Célula 1 e $\approx 46.700 \text{ mg O}_2/\text{L}$ para a Célula 2 já na 1ª semana.

A DQO, como nos lisímetros, pode ser devida a grande carga de corantes, ainda acrescida da presença de matéria orgânica.

Na Célula 2, a concentração de DQO diminuiu consideravelmente a cada semana, devido ao grande volume percolado. Com relação à carga, a Célula 2, mesmo tendo valores menores de concentração, apresentou uma maior carga de DQO que a primeira.

5.4.7. NTK e amônia (tabelas C.7 e C.8 e figuras E.16 à E.23)

Grande parte do NTK e amônia detectados foram fornecidos pelos radicais amina presentes nos corantes.

O aumento da carga de amônia e, conseqüentemente diminuição do NTK indicou a presença do processo de decomposição da matéria orgânica utilizada.

A Célula 1, com processo natural, desdobrou uma maior quantidade de NTK e amônia, diminuindo nas três primeiras semanas e depois da 12^a à 14^a semana. Esta diminuição podem estar relacionada com o processo de nitrificação.

Na Célula 2, ocorreu um grande aumento de amônia com a diminuição gradativa de NTK. Este aumento pode ter sido decorrente de uma maior solubilização dos corantes e/ou pelo processo ter sido mais lento que na Célula 1.

5.4.8. Sólidos totais, fixos e voláteis (tabelas C.9 e C.10)

Os valores de sólidos fixos e voláteis para as duas células foram semelhantes (praticamente 1:1), diminuindo bastante para a Célula 2 (fator do grande volume) e diminuindo em menor quantidade para a Célula 1 com relação ao mesmo tempo da Célula 2. Os valores máximos para sólidos voláteis foram de 24,1 g/L para a Célula 2 e 22,2 g/L para a Célula 1, enquanto que para sólidos fixos foram de 18,3 g/L para a Célula 2 e 21,8 g/L para a Célula 1.

5.4.9. Metais: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, ferro, níquel e zinco (tabelas C.11 e C.14)

Tanto para a Célula 1 como para a 2, cádmio, chumbo e cobre apresentaram valores máximos de concentração de 0,1 mg/L. O valor máximo para o alumínio foi de 84 mg/L na 1^a semana para a Célula 1 e 42,7 mg/L para a Célula 2, diminuindo para níveis de 1 mg/L no final do experimento.

Valores elevados de ferro foram encontrados nas células: 61,7 mg/L para a Célula 1 na 2^a semana e 83mg/L para a Célula 2 na 6^a semana. Os valores oscilaram, não havendo

diminuição significativa de concentração. Para o níquel, o valor máximo na Célula 1 foi de 0,5 mg/L, enquanto para a Célula 2 foi de 0,1 mg/L e, por último o zinco com 4,7 mg/L para Célula 1 e 3,2 mg/L para a Célula 2.

Todos os metais presentes foram oriundos das aparas e serragens de couro presentes já que, como mostra a tabela C.2, valores muito baixos de metais foram detectados no material orgânico.

5.4.10. Micro e macro-nutrientes (tabela C.13 e C.16)

Grandes concentrações de cálcio, sódio, potássio e magnésio foram encontradas. Além de fazerem parte da constituição dos alimentos, também estão presentes durante o processo de curtimento. Isto explica os valores tão elevados.

5.4.11. Acidez (tabelas C.17 e C.18 e figuras E.26 e E.27)

Para a Célula 1, a acidez diminuiu consideravelmente durante o período de experimento de um máximo de 34 g CaCO₃ para 3,2 g CaCO₃. Para a Célula 2, esta diminuição foi muito lenta (de um máximo de 83 g CaCO₃ para 39 g CaCO₃), o que mais uma vez comprova problemas no processo anaeróbio. Como a acidez está relacionada com a concentração de prótons H⁺ livres, a geração de ácidos voláteis contribuiu para uma maior dificuldade na elevação do pH e desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios.

5.4.12. Ácidos voláteis (tabelas C.19 a C.22 e figuras E.28 e E.29)

A alta umidade da matéria orgânica, bem como a rega diária com um volume alto de líquidos, contribuíram para uma maior produção de ácidos voláteis e a formação de um desequilíbrio no processo anaeróbio que estava se desenvolvendo no interior da célula. Isto foi o que ocorreu com a Célula 2. Como na Célula 1, a umidade manteve-se em níveis menores, o processo aparentemente transcorreu normalmente, ou pelo menos com conseqüências menores frente a geração de ácidos.

Para a Célula 1, o valor máximo encontrado de carga de ácidos voláteis (expressa em ácido acético) foi de 81.000 mg na 12^a semana, enquanto que para a Célula 2 o valor encontrado foi de 555.000 mg na 4^a semana de experimento.

5.4.13. Cromo (tabelas C.12 e C.15 e figuras E.24 e E.25)

Na Célula 1, a quantidade de cromo lixiviada foi menor que na Célula 2 (tabela B.17), sendo que 1,3% para a Célula 1 e 2,6% para a Célula 2.

No processo natural, de acordo com os resultados obtidos, o cromo parece ter sofrido um efeito atenuador pela matéria orgânica presente, enquanto que na célula forçada, provavelmente a matéria orgânica não teve condições de desenvolver este papel atenuador pela falta de condições ideais, devido o excesso de ácidos voláteis gerados pelo grande volume de rega.

Pela manutenção do valor baixo de pH, o cromo foi lixiviado por um período mais prolongado.

Os valores máximos de concentração chegaram a aproximadamente 1.600 mg/L para a Célula 1 na 2ª semana e 904 mg/L para a Célula 2 na 1ª semana. Em termos de carga, o valor máximo foi de 39 g para a Célula 1 na 1ª semana e 27 g para a Célula 2 na 2ª semana.

Na Célula 1 o valor caiu drasticamente da 2ª para a 3ª semana, podendo esta diminuição ter sido provocada pelo “aprisionamento” do cromo pela matéria orgânica. Já na Célula 2, os valores de carga de cromo foram diminuindo gradativamente. Para o período de 14 semanas, foram lixiviados 62,4 g de cromo da Célula 1, enquanto que para um período de 11 semanas para a Célula 2 foram lixiviados 134,8 g de cromo. Isto representou 1,3% para a Célula 1 e 2,6% para a Célula 2 (tabela B.17).

As células representaram condições extremas de um aterro, já que normalmente o mesmo não está composto somente de matéria orgânica como a fornecida pelos restaurantes universitários, e sim de sacolas plásticas fechadas, que aos poucos vão sendo abertas, até que todo o material esteja disponível para a ação dos microrganismos presentes. A geração de ácidos é mais lenta, e o pH não se mantém à níveis tão baixos como os encontrados inicialmente. Mantendo-se perto da neutralidade, pouca parcela de cromo será lixiviada.

5.5. Caracterização das aparas e serragens de couro

As tabelas do anexo B referem-se às análises dos metais existentes nas aparas brutas e após cada fase nos lisímetros (tabelas B.1 à B.4 e B.18). Mostraram que praticamente não há diferença com relação ao cromo, ou seja, o lixiviado foi insignificante do ponto de vista total de cromo e dos outros metais presentes em cada tipo de aparas brutas.

5.5.1. Teste em aquários à temperatura constante e pH variável (tabelas B.5 à B.13 e B.20)

Observou-se que quanto mais baixo o pH à temperatura ambiente, maior a quantidade de cromo solubilizada, exceto para os lisímetros L2 (PSA) e L3 (PA) que continham aparas de

couro preto (tabelas B.5 a B.8 e B.20). Neles, no pH 3,0 retirou-se maior carga de cromo que a pH 2,5. A composição do corante preto utilizado provavelmente influenciou nestes resultados.

5.5.2. Teste em “aquário” à temperatura variável e pH 2,0 constante (tabelas B.14, B.15 e B.19)

Devido à problemas com os “aquários”, este teste foi realizado somente para a serragem de couro “wet blue”.

Para este resíduo, quanto maior a temperatura, mais cromo foi solubilizado. Com pH baixo e temperaturas altas (60 e 70° C) ocorreu o fenômeno chamado hidrólise-ácida do colagênio, destruindo a estrutura da fibra, liberando, assim, o cromo que estava anteriormente complexado no interior da fibra.

Para os outros couros, esperava-se resultados semelhante, mas com valores não tão elevados.

A temperatura mais crítica foi a de 70 °C, que solubilizou 62,5% (tabela B.19) do cromo presente nas amostras. Provavelmente à temperaturas maiores, pode-se solubilizar uma maior quantidade de cromo presente.

5.6. Resultados da análise estatística

A análise estatística foi utilizada na comparação das cargas lixiviadas de cromo durante as três etapas do experimento. Para tal, utilizou-se duas ferramentas estatísticas de Análise de Variância - ANOVA : a 1ª a um fator e a 2ª a fator duplo e sem repetição. Nestas análises, testaram-se as diferenças das médias amostrais para significância de 5% e 1%, testando-se a hipótese nula de que as médias amostrais são todas iguais.

Compara-se os valores de F crítico e F calculado. Se F calculado for menor que o F crítico para níveis de significância de 5 %, a hipótese nula de que as médias amostrais são todas iguais é verdadeira. Confirma-se então, a níveis de significância de 1%. Se F calculado é maior que F crítico, então a hipótese nula é falsa, ou seja, há uma probabilidade de 99 % das vezes em que se compara as médias ter-se estes resultados diferentes.

Como exemplo, observando-se a tabela G.1, onde foi testado o comportamento dos diferentes tipos de couros frente a lixiviação do cromo a níveis de significância de 5 %. O resultado foi de que F calculado foi maior do que o F crítico, ou seja, há a probabilidade de

que em 95 % dos casos, as cargas lixiviadas de cromo dos diferentes tipos de couros, sejam diferentes.

O teste ANOVA - fator único foi utilizado nas tabelas G.1 à G.12. Os resultados foram os seguintes:

- para o conjunto de todos os couros (tabelas G.1 à G.8) há a probabilidade de em 95 % dos testes fornecer valores diferentes de cargas de cromo lixiviadas, tanto para a Fase 1 como para a 2;

- para as tabelas G.2 e G.3 (níveis de significância de 5 % e 1 %) onde foi retirado o couro “wet blue”, resultou que estas amostras não apresentaram diferenças significativas, ou seja, há a probabilidade de em 99 % das vezes destes couros com acabamento comportaram-se de maneira semelhante (Fase 1);

- os couros pretos comportaram-se de maneira semelhante nos testes a níveis de significância de 5 % e 1 % (Fase 1), independente do grau de acabamento. O mesmo ocorreu para os couros de cor marrom.

Os mesmos testes foram repetidos para a Fase 2, obtendo-se os seguintes resultados:

- os couros com acabamento comportaram-se de maneira diferenciada, ou seja com probabilidade de 95 % das vezes de fornecerem valores de cargas de cromo lixiviadas diferentes;

- somente os couros de cor marrom comportaram-se de maneira semelhante para 5 % e 1 % de níveis de significância (tabelas G.11 e G.12).

Nas tabelas G.13 à G.22, a ferramenta estatística utilizada foi a Análise de Variância - ANOVA com fator duplo e sem repetição. Foram realizados testes com relação à lixiviação do metal cromo nos diferentes couros e nas aparas antes (chamadas de aparas brutas) e após cada fase (diferentes regas). Comparou-se as quantidades de cromo presentes. O resultado foi o seguinte:

- não houve diferença significativa dos valores encontrados de cromo nas aparas antes e após cada fase, para os níveis de significância de 5 % e 1 % (tabelas G.13 e G.14).

Nos testes realizados em aquários concluiu-se que:

- para pH diferentes, as cargas de cromo solubilizadas apresentam 95 % de probabilidade de que estes valores sejam diferentes;

- só não ocorreu diferenças significativas para os couros de cor marrom acabados para os testes a níveis de significância de 5 % e 1 % (tabelas G.19 e G.20).

Nos testes em aquários a temperaturas diferentes e pH constante para a serragem de couro “wet blue”, constatou-se a probabilidade de que 95 % das cargas de cromo solubilizadas sejam diferentes.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa permitiram chegar às seguintes conclusões:

6.1.1. Lisímetros

Na simulação de uma situação de disposição inadequada de resíduos sólidos de curtumes utilizando-se lisímetros, pode-se concluir que o grau de acabamento influi na lixiviação dos metais presentes, em especial o cromo. Por não apresentar qualquer tipo de acabamento, o L1 (“wet blue”) apresentou a maior carga de cromo lixiviada de todos os lisímetros, independente da fase. Os outros couros lixiviaram em concentrações elevadas inicialmente (na fase com rega com água destilada a pH 6,7), decaindo rapidamente ao longo do período de estudo, mantendo-se em concentrações baixas.

Após a Fase 2, onde foi utilizado para a rega água destilada acidulada a pH 3,0, os valores baixaram a níveis próximos aos permitidos pela legislação (Portaria nº 5 da SSMA). Esta rega a pH 3,0 simulou uma condição extrema que normalmente não ocorre na natureza.

Apesar das concentrações altas de cromo lixiviada no teste em lisímetros, o balanço de massa comprovou que a porcentagem lixiviada foi pequena comparada ao total de cromo presente nas aparas.

Comprovou-se, assim, que o couro “wet blue” lixivia, inicialmente, grandes quantidades de cromo quando exposto a uma simulação de precipitações na natureza, ainda mais se possuírem caráter ácido.

6.1.2. Testes a pH e temperaturas diferentes

Nos testes realizados nos aquários, chegou-se a conclusão que quanto menor o pH (à temperatura ambiente) maior a carga de cromo solubilizada, exceto para os couros de coloração preta que, a pH 3,0 solubilizaram uma maior quantidade de cromo que a pH 2,5. Para o teste realizado com temperaturas variadas e pH 2,0 constante para a serragem de couro “wet blue”, concluiu-se que quanto maior a temperatura, maior a carga de cromo solubilizada, podendo ser utilizada como forma alternativa de recuperação de cromo, embora ainda não sendo economicamente atraente.

As solubilizações observadas durante os testes em aquários foram máximas, pois os valores utilizados de pH e temperaturas naturalmente não ocorrem na instância de um aterro sanitário.

6.1.3. Células piloto de aterro sanitário

As duas células de aterro sanitário comportaram-se de forma diferente.

Com os resultados obtidos para a Célula 1 que foi exposta à intempérie natural, pode-se concluir que houve indícios de que o processo anaeróbio se desenvolveu de maneira satisfatória, atenuando consideravelmente a lixiviação do metal cromo.

O desenvolvimento do processo anaeróbio para a Célula 2, que sofreu simulação da precipitação média anual da cidade de Porto Alegre, através de rega sistemática, foi menos perceptível que na célula anterior. Poderá ter ocorrido uma possível “lavagem” da Célula 2.

O volume de rega dificultou o desenvolvimento natural dos microrganismos anaeróbios através do aumento da quantidade de ácidos voláteis. O pH manteve-se baixo por quase todo período de estudo, facilitando a lixiviação do metal cromo. Para esta célula, a porcentagem de cromo lixiviada foi de 2,6% durante o período de estudo, enquanto que para a célula anterior a porcentagem foi de 1,3%, ou seja, a Célula 1 obteve o dobro de atenuação da lixiviação do metal cromo que a Célula 2.

Os resultados das células foram satisfatórios no que diz respeito a possível complexação do metal cromo pela matéria orgânica, já que foi simulada uma condição extrema de grande volume de aparas para uma mesma quantidade de matéria orgânica.

Em uma célula de aterro sanitário com dimensões reais, o processo deverá reduzir nas primeiras semanas bruscamente as concentrações e cargas de cromo, e este líquido lixiviado poderá ser tratado, conjuntamente com chorume de outras células, sem afetar o desenvolvimento do processo escolhido para tratamento. Em curtumes onde cargas lixiviadas de cromo são mais elevadas que nos aterros, lodos ativados são comumente utilizados.

Com base nos resultados obtidos, viabiliza-se o tratamento das aparas de couros acabados, semi-acabados e serragens de couros “wet blue” em células de aterro sanitários.

6.2. Recomendações

- Recomenda-se que sejam estudadas porcentagens ideais de misturas (lixo doméstico e couros) em células de aterro sanitário em escala real, otimizando-se, assim os resultados;
- aprofundar o estudo desenvolvido nos aquários com relação a solubilização do metal cromo frente a diferentes temperaturas para as aparas acabadas e semi-acabadas, bem como realizar novos testes a temperaturas diferentes com a serragem de couro “wet blue”;
- utilizando-se os “aquários”, estudar formas de recuperação do metal cromo através da hidrólise-ácida ;
- estudar por um período mínimo de 18 meses (12 meses de ciclo normal de 1 ano e 6 meses de sobreposição) as fases do processo anaeróbio que ocorre em células de aterro sanitário, observando a questão da complexação do metal pesado cromo pela matéria orgânica presente;
- lavar o material antes da sua utilização, para a retirada do excesso de cromo e após, tratá-lo nas células de aterro sanitário.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMAZARRAY, Mariliz T. 1993. Avaliação ecotoxicológica de cromo em ambientes naturais. In: II FETRI. 1993. Revista do Couro, p64-69. Dez.
- ANUSZ, Lech. 1995. A Arte de Curtir. Estância Velha-RS : ABQTIC. 95 p.
- BASEGIO, Tânia; VILELA, Antônio C, F.; BERGMANN, Carlos. P. 1997. Utilização da cinza de serragem curtida ao cromo na produção de materiais refratários. Porto Alegre-RS: UFRGS (7p). In: II Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, Out. 1997, São Paulo.
- BASEGIO, Tânia. 1997. Estudo da utilização da cinza da serragem de couro curtido ao cromo para a obtenção de materiais refratários. Porto Alegre-RS: UFRGS, 81 p. Dissertação (Mestrado): Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais, Porto Alegre.
- BASF S/A. 1995. Avaliação toxicológica de corantes azóicos. Revista do Couro. Estância Velha-RS: ABQTIC, p. 44-45, Jul/Ago.
- BIDONE, Francisco R. A. 1995. A vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume, brutos e previamente lixiviados, utilizando compostos de lixo orgânico urbano como substrato. São Carlos: USP, XXIX, 184, 49, 65p., 4f. Tese (Doutorado): Universidade de São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Hidráulica e Saneamento. São Carlos. SP-BR.
- BIDONE, Francisco. R. A. 1997. Solubilização de metais pesados a partir de aparas e serragem de couro "wet blue" em meio ácido e a diferentes temperaturas. In: I ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS (1 : 1997 : Canela-RS). [Anais]. Porto Alegre. p.1-5.
- BIDONE, Francisco R.A.; POVINELLI, Jurandyr. 1996. Mobilidade do metal pesado cromo durante a vermicompostagem de resíduos sólidos de curtume, codispostos com compostos de lixo orgânico urbano. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL PROJETO DE ATERRO DE RESÍDUOS E SANEAMENTO DE ÁREAS DEGRADADAS. (1996 Set. 16-18 : Porto Alegre-RS :ABES, 7 p.)
- BIDONE, Francisco R. A. ; POVINELLI, Jurandyr; COTRIM, Sérgio L S. 1997. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de filtros percoladores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (19 : 1997 : Foz do Iguaçu. 5p.)
- BIDONE, Francisco R.A.; POVINELLI, Jurandyr. 1995. A vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL (25 : 1996 : México. 8 p.)
- CANTANHEDE, A. L. G.; FERREIRA, J. A. 1995. Codisposição de resíduos perigosos. Companhia Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB- RJ. V. 3. p. 557-579.
- CARRARO, Fernando L.; MEDITSCH, Jorge O. 1977. Dicionário de Química. Porto Alegre: Ed. Globo. 359p.

- CLASS, Isabel. C.; MAIA, Roberto A. M. 1994. Manual Básico de Resíduos Industriais de Curtume. Porto Alegre: SENAI/RS. 664 p.
- CONSULTORIA AMBIENTAL DE ESTÂNCIA VELHA (RS). 1993. Resíduos Sólidos: Critérios técnicos para seleção de áreas. Revista do Couro. Estância Velha-RS: ABQTIC p. 96-97. Out/Nov.
- COTRIM, Sérgio. L. S. 1997. Filtros aeróbios percoladores aplicados ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários antigos. Porto Alegre:UFRGS. [120] f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre. RS-BR.
- COVINGTON, A. 1996. Administração do Cromo - 1ª parte . Resumo da palestra apresentada durante o XIII Congresso Latino-Americano de Químicos e Técnicos da Indústria do Couro , na Colômbia , nov/95 pelo professor da British School of Leather Technology , Inglaterra. Revista do Couro. Estância Velha-RS: ABQTIC, n. 112, p. 46-52, Mar/Abr.
- DEXHEIMER, Marco A. 1992. Resíduos Sólidos: um novo desafio para o setor coureiro. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 73-74. Jun.
- END, Marise. 1991. Padrões de emissão de efluentes industriais líquidos-RS.: estudo comparativo e levantamento inicial de sua exequibilidade para a indústria do couro. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 40-44, Set/Out.
- FERRARI, W. 1998. Por que reciclar cromo? Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, n. 131, p.60-61, Dez.
- FISCH, Jerônimo 1993. Utilização de lodo de curtimento ao cromo em solo agrícola. In: CONGRESSO IULTCS. (22 : 1993 : Porto Alegre). [Anais : ABQTIC] Porto Alegre. p. 181-189.
- FISCH, Jerônimo ; COMPASSI, Marlon K. 1994. Resolvendo o problema da serragem ao cromo da rebaixadeira. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p.43. Out/Nov.
- FISCH, Jerônimo. 1995. Redução de desperdícios sob o ponto de vista ambiental. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, n. 110, p. 32-33. Dez.
- FLÔRES, Alvaro. 1997. Os controles de processo na indústria curtidora. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, n. 120, p. 52-55 . Maio.
- FLÔRES, Alvaro ; GONÇALVES, Edineia. 1998. Redução de nitrogênio no efluente de curtumes. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 36-42, Mar/Abr.
- GARS (Gerência de Assistência em Resíduos Sólidos); SAM (Superintendência de Assistência aos Municípios); DENG (Diretoria de Engenharia). 1985. Resíduos Sólidos Industriais - vol.I . São Paulo : Cetesb. 182p.
- GERMANN, H. P. 1995. Chrome tannary from the viewpoint of ecology. Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists, Reutlinger, Alemanha, V. 79, p. 82-85.

- GNAMM, Hellmut. 1945. Fabricación de curtidos. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S/A 490 p.
- GUTTERRES, Mariliz Soares. 1996. Alternativas para destinação do resíduo do rebaixamento do couro "wet blue". Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 49-54. Maio.
- GUTTERRES, Mariliz Soares. 1996. Aproveitamento de serragem de couro curtido ao cromo para a obtenção de compósitos utilizados em chapas. Porto Alegre: UFRGS, XII, 99F.il. Dissertação (Mestrado): Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais. Porto Alegre, RS-BR.
- GUTTERRES, Mariliz Soares. 1997. Considerações sobre curtimento ao cromo e meio ambiente. Revista do Couro, Estância Velha-RS: ABQTIC, n. 122 , p. 28-29. Ago/Set.
- HEIDEMANN, E. 1992. Depósito e reciclagem de materiais curtidos ao cromo. Revista do Couro, Estância -RS : ABQTIC, n. 86, p. 48-50, Ago.
- HOINACKI, Eugênio. 1989. Peles e Couros. Porto Alegre : SENAI/RS. 319 p.
- HOINACKI, Eugênio; MOREIRA, Marina V.; KIEFER, Carlos G. 1994. Manual Básico de Processamento do Couro . Porto Alegre : SENAI/RS. 402 p.
- HUBER, Carl V. 1991. Toxicidade dos efluentes de curtumes - a próxima preocupação? Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 44-50, Jul/Ago.
- JACKSON-MOSS, C. A. 1990. Efeito do cloreto de sódio sobre digestão anaeróbia. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 49-52, Maio/Jun.
- KELLER, W. et al. 1997. O cromo nos resíduos sólidos de curtumes- imobilização em materiais cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (19 : 1997: Foz do Iguaçu) [Anais : ABES] p.1759-1768.
- KNÄPPER, Christa. 1998. Vermicompostagem: raspas, aparas e lodos de curtumes transformam-se em compostos orgânicos nobres. Setor Couro. São Leopoldo-RS, V. 5, n. 27, p. 20-22.
- LARINI, L. 1993. Toxicologia. 2ª Ed. São Paulo: Editora Manole LTDA. 281 p.
- LEITE, V. D. 1997. Processo de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos urbanos inoculados com lodo de esgoto industrial. São Carlos : USP. 251 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Programa de Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento.
- MACCHI, G. et al. 1991. A Bench Study on Chromium Recovery from Tannery Sludge . Water Research Institute. Bari, Itália, V. 25, n. 8, p. 1.019-1.026.
- MK e EQ. TÊC. 1995. Os efeitos da temperatura no processo de pique. Revista do Couro, Estância Velha-RS : ABQTIC, n. 110, p. 27-29. Dez.
- NORDIO, E. 1991. Farelo de rebaixadeira não curtidos: uma alternativa para a sua diminuição e o seu aproveitamento econômico. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 33-37, Jan/Fev.

- NORMA TÉCNICA SSMA Nº 01/89. 1990. Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 45-46, Jul/Ago.
- NOVAES, R. F. V. 1986. Microbiology of anaerobic digestion water science technonoly. V. 18, n. 12, p. 1-14.
- PEREIRA, A. C. ; CLASS, I. C. 1995. Sistema de gestão ambiental na indústria curtidoura: um novo desafio. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC , p. 34-43. Dez.
- PICHON, Gerard. (s.n.t.) Valorização dos resíduos de curtumes e da indústria de peles. In: Iº ENCONTRO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS. São Paulo. 7p.
- PUGEN, Keslon ; ARAUJO, A. ; SABEL, N. 1998. Resíduos gerados no setor: acabamento. Curso Especial Técnico em Curtimento. Estância Velha-RS : SENAI, 14 p., Abr.
- Rio Grande do Sul. Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente. Divisão de controle de Resíduos. 1990. Critérios técnicos para a disposição de resíduos sólidos de curtume em forma de aterro. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 45-47, Jan/Fev.
- RODRIGUES, Ana L. M. et al. 1993. Critérios técnicos para disposição de resíduos sólidos de curtume. In: CONGRESSO IULTCS (23: 1993: Porto Alegre) [Anais] p. 451-455.
- RUPPENTHAL, L. 1997. UTRESA - Usina de Tratamento de Resíduos - experiência de deposição centralizada. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, n. 122 , p. 28-29 . Ago/Set.
- RUTLAND, Frank H. 1991. Environmental Compatibility of Chromium- containing tannery and other leather product wastes at land disposal sites. JALCA, Cincinnati, Canadá , V. 86, p. 364-375.
- SÁ, Ary. 1991. Controle da poluição ambiental em lixadeira de couro. Revista do Couro Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 50-52, Nov.
- SELBACH, Pedro A.; TEDESCO, Marino J.; GIANELLO, Carlos. 1991. Descarte e biodegradação do lodos de curtume no solo. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC. p.51-62, Jul/Ago.
- SELBACH, Pedro A. et al. 1991. Descarte e biodegradação de lodos de curtumes no solo. (Relatório final apresentado a Associação das Indústrias de curtume do Rio Grande do Sul pela Fundação Universidade - Empresa de Tecnologia e Ciência do Departamento de solos/UFRGS). Porto Alegre-RS. 49p.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Centro Tecnológico do Couro. 1993. Compatibilidade ambiental de resíduos contendo cromo III. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 79-81. Jul.
- SHIVAS, Steven A. J. 1978. The enviromental effects of chromium in tannery effluents. JALCA. Cincinnati, Canadá, V. 73, p. 370-377.
- SOUZA, L. F. 1999. Serragens de couro curtido tipo "wet blue" utilizadas como meio suporte de filtros biológicos destinados ao tratamento de esgoto sanitário. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de

Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 250 p.

SPRINGER, H. 1985 Aproveitamento econômico de resíduos sólidos da indústria de peles e couros. Porto Alegre: SENAI/RS. 204 p.

TAKENOUCHI, K. et al. 1995. Effect of masked chromium complexes on thermal stability of collagen. Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists, Sapporo, Japan, V. 79, p. 188-194.

TAYLOR, M. M. ; DIEFENDORF, E. J. 1991. Tratamento enzimático da serragem cromada. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 57-61, Mar/Abr.

TEIXEIRA, Regina Conovas. 1985. Estudos sobre a utilização de serragem de couros ao cromo na fabricação de artefatos. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação (Mestrado): Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia da Energia, Metalúrgica e dos Materiais. 147 f. Porto Alegre, RS-BR.

TITANCHIM do BRASIL, 1994. TITAMBIT $\text{TiO}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - Sistema de Curtimento Alternativo. Apostila da Empresa TITANCHIM do Brasil, Novo Hamburgo, 40 p.

UNIÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DE CURTUMES DA ITÁLIA, 1992. Recuperação dos resíduos do ciclo de curtimento. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, n. 86, p. 69-70. Ago.

VAN VLIET, M. 1993. Reciclagem do cromo como agente de curtimento. Revista do Couro. Estância Velha-RS : ABQTIC, p. 73-75, Ago/Set.

ANEXO A

Tabela A.1- Resultados dos ensaios de lixiviação realizados com os resíduos sólidos do curtume

Parâmetro	Unidade	L1	L2	L3	L4	L5	L6
pH		3,8	4,0	4,1	4,3	4,4	4,2
Cloreto	mg/L	953	77	97	181	113	161
Fluoreto	mg/L	2,7	52	86	95	74	156
Fosfato - P	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nitrito - N	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nitrato - N	mg/L	37	1,5	1,5	1,7	1,7	2,3
Sulfato-SO ₄ ⁼	mg/L	1991	229	893	535	277	154
Alumínio	mg/L	1,1	8,1	0,7	6,1	0,4	0,6
Cádmio	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cromo	mg/L	6,2	6,5	18	11	3,0	16
Ferro	mg/L	1,1	0,5	0,4	1,5	1,0	0,5
Níquel	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinco	mg/L	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	1,0

ND - Não detectado

Tabela A.2- Resultados dos ensaios de solubilização realizados com os resíduos sólidos do curtume

Parâmetro	Unidade	L1	L2	L3	L4	L5	L6
pH		3,5	3,7	3,8	4,0	4,2	3,9
Cloreto	mg/L	41	42	52	101	41	88
Fluoreto	mg/L	124	61	162	98	99	137
Fosfato - P	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nitrito - N	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nitrato - N	mg/L	1,0	1,3	ND	1,3	1,4	79
Sulfato SO ₄ ⁼	mg/L	187	47	178	109	38	61
Alumínio	mg/L	1,6	4,8	0,4	2,8	0,4	0,2
Cádmio	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cromo	mg/L	1,1	12	27	11	5,6	18
Ferro	mg/L	14	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2
Níquel	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinco	mg/L	0,6	0,1	0,2	0,1	0,1	1,2

ND - Não detectado

Tabela A.3- Valores de cor aparente (mg Pt/L), Fase 1*, período de 23/02 à 22/05/1998

Data	t (dias)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
23/02/98	1	-	-	-	-	-	-
24/02/98	2	-	-	-	-	-	-
25/02/98	3	-	-	-	-	-	-
26/02/98	4	-	-	-	-	-	-
27/02/98	5	-	-	-	-	-	-
02/03/98	8	-	-	-	-	-	-
03/03/98	9	1.500	6.000	-	4.000	8.000	-
04/03/98	10	1.500	8.000	-	-	8.000	-
05/03/98	11	1.500	8.000	-	-	7.000	-
06/03/98	12	1.500	-	-	-	8.000	-
09/03/98	15	1.500	-	-	-	8.000	-
10/03/98	16	600	-	-	-	7.000	-
11/03/98	17	700	-	-	-	8.000	12.000
12/03/98	18	600	-	-	-	7.000	-
13/03/98	19	600	-	-	-	7.000	-
16/03/98	22	60	12.000	-	-	3.000	12.000
17/03/98	23	60	10.000	-	-	3.000	12.000
18/03/98	24	80	-	-	-	3.000	12.000
19/03/98	25	80	-	-	-	3.000	12.000
20/03/98	26	80	-	-	-	3.000	12.000
23/03/98	29	70	-	-	-	3.000	10.000
24/03/98	30	80	12.000	-	-	3.000	8.000
25/03/98	31	NA	-	-	-	NA	NA
26/03/98	32	NA	-	-	-	NA	NA
27/03/98	33	NA	-	-	-	NA	NA
30/03/98	36	80	7.000	-	10.000	1.500	6.000
31/03/98	37	70	5.000	3.000	6.000	1.000	4.000
01/04/98	38	70	2.000	1.500	2.000	600	1.500
02/04/98	39	70	700	1.000	1.000	400	1.000
03/04/98	40	70	400	1.000	1.000	400	1.000
06/04/98	43	60	120	400	600	400	400
07/04/98	44	50	120	400	400	400	400
08/04/98	45	30	130	300	300	300	300
09/04/98	46	30	120	300	300	300	300
10/04/98	47	NA	NA	NA	NA	NA	NA
13/04/98	50	5	100	200	300	200	300
14/04/98	51	5	100	200	300	200	300
15/04/98	52	2,5	80	180	200	200	200
16/04/98	53	2,5	60	120	200	180	200
17/04/98	54	0	70	120	200	180	200
20/04/98	57	0	100	150	200	180	200
21/04/98	58	0	100	150	200	180	200
22/04/98	59	0	100	150	220	180	160
23/04/98	60	0	60	160	220	200	160
24/04/98	61	0	60	160	220	200	160
27/04/98	64	0	100	160	220	220	220
28/04/98	65	0	60	100	200	220	220
29/04/98	66	0	60	100	200	220	200
30/04/98	67	0	50	100	160	220	160
01/05/98	68	NA	NA	NA	NA	NA	NA
04/05/98	71	0	60	100	160	220	160
05/05/98	72	0	60	100	160	220	160
06/05/98	73	0	60	100	160	220	160
07/05/98	74	0	40	80	160	200	160
08/05/98	75	0	40	80	140	200	140
11/05/98	78	0	40	80	140	200	140
12/05/98	79	0	40	80	140	200	140
13/05/98	80	0	40	50	120	200	120
14/05/98	81	0	20	50	100	200	120
15/05/98	82	0	20	50	100	200	100
18/05/98	85	0	20	50	100	200	100
19/05/98	86	0	20	50	80	200	80
20/05/98	87	0	20	50	80	200	80
21/05/98	88	0	20	50	80	200	80
22/05/98	89	0	20	50	80	200	80

NA - Não analisado

* FASE 1- Rega com água destilada pH 6,7

Tabela A.4- Valores de turbidez (UNT), Fase 1*, período de 23/02 à 22/05/1998

Data	t (dias)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
23/02/98	1	-	-	-	-	-	-
24/02/98	2	-	-	-	-	-	-
25/02/98	3	-	-	-	-	-	-
26/02/98	4	-	-	-	-	-	-
27/02/98	5	-	-	-	-	-	-
02/03/98	8	-	-	-	-	-	-
03/03/98	9	4,7	3,4	-	1,2	0,5	-
04/03/98	10	4,7	0,3	-	-	0,2	-
05/03/98	11	4,7	0,2	-	-	0,2	-
06/03/98	12	4,7	-	-	-	0,2	-
09/03/98	15	4	-	-	-	0,2	-
10/03/98	16	18	-	-	-	0,4	-
11/03/98	17	18	-	-	-	0,4	0,04
12/03/98	18	10	-	-	-	0,4	-
13/03/98	19	10	-	-	-	0,4	-
16/03/98	22	8,1	0,01	-	-	1	0,05
17/03/98	23	12	0,04	-	-	1,1	0,05
18/03/98	24	14	-	-	-	0,9	0,05
19/03/98	25	10	-	-	-	0,8	0,05
20/03/98	26	10	-	-	-	0,9	0,05
23/03/98	29	4,6	-	-	-	2,8	0,7
24/03/98	30	38	0,04	-	-	5,1	1,2
25/03/98	31	NA	-	-	-	NA	NA
26/03/98	32	NA	-	-	-	NA	NA
27/03/98	33	NA	-	-	-	NA	NA
30/03/98	36	40	0,4	-	0,3	5	20
31/03/98	37	25	0,7	0,4	1	12	2,1
01/04/98	38	16	2,3	2,2	3,8	9,4	3,2
02/04/98	39	12	2	2	4	6,4	3,3
03/04/98	40	12	2	1,2	3,8	5,4	2,2
06/04/98	43	12	3	6,5	6	13	22
07/04/98	44	3,8	3,5	6,5	4,5	9,5	22
08/04/98	45	3,6	3,5	6,5	4	4	7
09/04/98	46	2,2	1,1	4	2	1,2	7
10/04/98	47	NA	NA	NA	NA	NA	NA
13/04/98	50	3	4,7	8,6	5,6	13	34
14/04/98	51	2	5,2	9,2	4,1	12	36
15/04/98	52	2	6,3	9,6	6	12	35
16/04/98	53	2,1	8,2	9,8	13	12	35
17/04/98	54	1,8	6	9,8	5,7	12	41
20/04/98	57	2,6	6	9	11	11	30
21/04/98	58	2	6	8,5	10	11	30
22/04/98	59	1,6	4,8	8,1	8,3	9,2	22
23/04/98	60	1,6	4,8	8,4	8,3	9,6	22
24/04/98	61	1,6	5,3	9	9	9,3	25
27/04/98	64	1,5	4,6	8,1	15	8	23
28/04/98	65	1,5	5,1	8,5	14	8,8	23
29/04/98	66	1,6	5,6	8,3	9	8,5	20
30/04/98	67	1	5,4	8,2	7,6	7,1	16
01/05/98	68	NA	NA	NA	NA	NA	NA
04/05/98	71	1	5,3	8,3	14	7,6	19
05/05/98	72	1	4,3	6,2	13	6,5	18
06/05/98	73	1,1	5,4	5,5	9,5	7,9	16
07/05/98	74	0,8	4,8	4,5	7,2	5,8	15
08/05/98	75	0,7	4,4	4,2	7,4	6,1	10
11/05/98	78	1,2	4,2	4,9	12	7,2	15
12/05/98	79	0,9	5,3	4,9	9	7,1	16
13/05/98	80	1	4,6	4,9	8,4	5,6	15
14/05/98	81	1	4,7	4,6	8	5,6	15
15/05/98	82	1	4,7	4,6	8	6	15
18/05/98	85	1,3	4	4,3	8,2	6,3	17
19/05/98	86	1	4	4,2	8	6	16
20/05/98	87	0,7	4,4	4,1	6,9	5,3	16
21/05/98	88	0,8	4,8	3,4	5,7	5,3	15
22/05/98	89	0,8	4,7	3,4	5,7	5,3	15

NA - Não analisado

* FASE 1- Rega com água destilada pH 6,7

Tabela A.5- Valores de pH, Fase 1*, período de 23/02 à 22/05/1998

Data	t (dias)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
23/02/98	1	-	-	-	-	-	-
24/02/98	2	-	-	-	-	-	-
25/02/98	3	-	-	-	-	-	-
26/02/98	4	-	-	-	-	-	-
27/02/98	5	-	-	-	-	-	-
02/03/98	8	-	-	-	-	-	-
03/03/98	9	7,5	8,7	-	9	8,3	-
04/03/98	10	7,5	8,7	-	-	8,1	-
05/03/98	11	7,5	8,8	-	-	8,1	-
06/03/98	12	7,5	-	-	-	8,1	-
09/03/98	15	7,5	-	-	-	8,4	-
10/03/98	16	7,4	-	-	-	8,4	-
11/03/98	17	7,4	-	-	-	8,4	9,1
12/03/98	18	7,4	-	-	-	8,4	-
13/03/98	19	7,3	-	-	-	8,4	-
16/03/98	22	7,1	9	-	-	8,1	8,9
17/03/98	23	7,3	8,8	-	-	7,6	8,7
18/03/98	24	7,3	-	-	-	7,6	8,7
19/03/98	25	7,3	-	-	-	7,7	8,6
20/03/98	26	7,3	-	-	-	7,6	8,6
23/03/98	29	7,2	-	-	-	7,6	8,5
24/03/98	30	6,4	8,9	-	-	7,6	8,4
25/03/98	31	NA	-	-	-	NA	NA
26/03/98	32	NA	-	-	-	NA	NA
27/03/98	33	NA	-	-	-	NA	NA
30/03/98	36	5,9	8,6	-	7,6	7,7	7,7
31/03/98	37	5,4	8,4	8,1	7,7	7,4	7,5
01/04/98	38	5,4	8	7,6	7,4	7,1	7,6
02/04/98	39	4,9	7,8	7,5	7,4	7,7	7,6
03/04/98	40	4,9	7,6	7,4	7,4	6,9	7,6
06/04/98	43	4,7	7,6	7,6	7,5	7,1	7,5
07/04/98	44	3,6	7,5	7,6	7,4	7	7,4
08/04/98	45	3,4	7,5	7,5	7,7	7,1	7,2
09/04/98	46	3,1	7,4	7,2	7,5	6,8	7,1
10/04/98	47	NA	NA	NA	NA	NA	NA
13/04/98	50	4	7,2	7,1	7,4	6,7	6,9
14/04/98	51	3,5	7,1	6,7	7,2	6,7	6,7
15/04/98	52	3,6	7,3	6,9	7,2	6,8	6,7
16/04/98	53	3,8	6,4	6,7	7	6,6	6,6
17/04/98	54	3,4	7,1	6,8	7,2	6,7	6,4
20/04/98	57	3,8	7,4	6,8	7,3	6,9	7
21/04/98	58	3,4	7,1	6,8	7,2	6,7	6,6
22/04/98	59	3,4	7,8	7,5	7,7	7,3	7,1
23/04/98	60	3,1	7,4	7	7,3	7	6,8
24/04/98	61	3,4	7,1	7,1	7,6	7	7
27/04/98	64	3,2	7,9	7,7	7,8	7,5	7,3
28/04/98	65	3,1	7,5	7,3	7,7	7,2	7,1
29/04/98	66	3,1	7,2	7,3	7,5	7,8	6,9
30/04/98	67	3,1	7,1	7,1	7,6	7	7,3
01/05/98	68	NA	NA	NA	NA	NA	NA
04/05/98	71	3,8	7,4	7,8	7,5	7,4	7,4
05/05/98	72	3,1	7,6	7,5	7,7	7,4	7,3
06/05/98	73	3,2	7	7,2	7,4	7	7,1
07/05/98	74	3,2	7,2	7,5	7,4	7,3	7,4
08/05/98	75	3,1	7,1	7,2	7,5	7,1	7,2
11/05/98	78	3,6	7,3	7,6	7,6	7,3	7,3
12/05/98	79	3,1	6,9	7,1	7,4	7,1	7
13/05/98	80	3,1	7,3	7,2	7,7	7,3	7,2
14/05/98	81	3,1	7,1	7	7,5	7,2	6,9
15/05/98	82	3,2	7	7	7,5	7,1	6,9
18/05/98	85	3	6,7	7,5	7,5	7,3	7,3
19/05/98	86	3	7	7	7,4	7,2	7,2
20/05/98	87	3	7,1	6,9	7,3	6,9	6,9
21/05/98	88	3	7	6,9	7,2	6,8	6,9
22/05/98	89	3	7	6,8	7,2	6,8	6,9

NA - Não analisado

* FASE I- Rega com água destilada pH 6,7

Tabela A.6- Valores de condutividade ($\mu\text{mhos/cm}$), Fase 1*, período de 23/02 à 22/05/1998

Data	t (dias)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
23/02/98	1	-	-	-	-	-	-
24/02/98	2	-	-	-	-	-	-
25/02/98	3	-	-	-	-	-	-
26/02/98	4	-	-	-	-	-	-
27/02/98	5	-	-	-	-	-	-
02/03/98	8	-	-	-	-	-	-
03/03/98	9	21.500	1.200	-	-	1.400	-
04/03/98	10	18.500	2.100	-	-	2.300	-
05/03/98	11	18.500	2.000	-	-	2.300	-
06/03/98	12	18.500	-	-	-	2.300	-
09/03/98	15	16.500	-	-	-	2.500	-
10/03/98	16	11.500	-	-	-	2.000	-
11/03/98	17	11.500	-	-	-	1.800	4.500
12/03/98	18	11.500	-	-	-	1.800	-
13/03/98	19	10.000	-	-	-	1.650	-
16/03/98	22	8.000	3.300	-	-	1.600	3.550
17/03/98	23	10.000	2.000	-	-	1.850	2.000
18/03/98	24	10.000	-	-	-	1.600	2.000
19/03/98	25	10.000	-	-	-	1.600	1.850
20/03/98	26	10.000	-	-	-	1.800	1.900
23/03/98	29	13.000	-	-	-	2.000	2.000
24/03/98	30	10.000	4.100	-	-	1.700	2.300
25/03/98	31	NA	NA	-	-	NA	NA
26/03/98	32	NA	NA	-	-	NA	NA
27/03/98	33	NA	NA	-	-	NA	NA
30/03/98	36	8.000	2.100	-	27.000	1.800	10.000
31/03/98	37	7.500	2.200	18.000	28.500	1.700	11.000
01/04/98	38	6.500	2.350	20.000	25.500	2.700	11.000
02/04/98	39	4.700	2.400	19.000	22.000	2.900	8.000
03/04/98	40	4.500	2.400	19.000	21.000	2.900	8.000
06/04/98	43	5.500	2.400	15.500	18.500	3.050	7.800
07/04/98	44	3.800	2.250	12.000	17.500	3.000	4.300
08/04/98	45	4.350	2.150	10.500	15.000	3.150	4.100
09/04/98	46	3.350	2.400	9.000	14.000	2.950	3.300
10/04/98	47	NA	NA	NA	NA	NA	NA
13/04/98	50	4.200	2.500	6.500	10.000	3.600	4.300
14/04/98	51	3.000	2.100	6.500	8.400	3.300	2.650
15/04/98	52	2.710	1.810	4.400	6.500	2.600	2.800
16/04/98	53	3.500	2.100	4.900	5.500	2.600	2.200
17/04/98	54	2.400	1.800	4.900	4.800	2.600	2.250
20/04/98	57	3.000	1.500	5.100	4.450	2.300	2.900
21/04/98	58	2.850	1.700	5.100	3.500	2.500	3.000
22/04/98	59	2.700	1.500	4.100	2.700	2.000	2.200
23/04/98	60	2.200	1.400	3.700	2.200	2.200	1.850
24/04/98	61	2.600	1.150	3.700	2.400	2.200	1.300
27/04/98	64	3.100	1.400	3.500	2.150	2.400	2.600
28/04/98	65	2.300	1.200	3.700	1.850	2.200	1.750
29/04/98	66	1.950	800	3.700	1.630	1.900	1.700
30/04/98	67	1.800	650	3.200	1.000	1.150	1.300
01/05/98	68	NA	NA	NA	NA	NA	NA
04/05/98	71	2.500	700	3.200	1.150	1.900	1.600
05/05/98	72	1.900	900	2.700	1.500	1.850	1.600
06/05/98	73	2.100	610	2.200	1.000	1.700	1.300
07/05/98	74	1.800	700	2.200	1.400	1.500	1.400
08/05/98	75	1.800	900	2.200	1.600	1.650	1.550
11/05/98	78	2.380	620	2.100	1.400	1.600	1.850
12/05/98	79	2.000	600	2.250	1.200	1.400	1.400
13/05/98	80	1.650	600	1.800	1.300	1.250	1.300
14/05/98	81	1.500	550	1.700	1.200	1.100	1.300
15/05/98	82	1.415	500	1.670	1.180	1.200	1.350
18/05/98	85	1.650	310	1.580	900	1.200	1.550
19/05/98	86	1.600	310	1.200	970	1.100	1.430
20/05/98	87	1.500	450	950	980	900	1.210
21/05/98	88	900	390	1.210	900	1.000	1.250
22/05/98	89	1.020	290	1.160	710	720	1.120

NA - Não analisado

* FASE 1- Rega com água destilada pH 6,7

Tabela A.7- Volume total (L) percolado nos lisímetros na Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	1,55	0,25	-	-	0,91	-
13/03/98	3	2,74	-	-	-	1,26	-
20/03/98	4	3,04	-	-	-	1,8	0,4
27/03/98	5	2,2	0,9	-	-	1,75	0,47
03/04/98	6	2,65	2,28	1,58	2,23	2,75	2,09
10/04/98	7	3,25	2,78	2,87	3,1	3,03	2,85
17/04/98	8	3,16	2,92	3,3	2,83	2,87	2,9
24/04/98	9	2,88	2,78	2,81	2,72	3	2,79
01/05/98	10	2,94	3,6	3,2	3	3,17	3,1
08/05/98	11	3,04	2,88	3	2,96	3	3,05
15/05/98	12	3,12	3,16	2,98	3,1	3,27	2,92
22/05/98	13	3,21	3,12	3,28	3,39	3,34	3,36

Tabela A.8- Concentração de DQO total (mg O₂/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	450	390	-	-	644	-
13/03/98	3	1.237	-	-	-	1.237	-
20/03/98	4	326	-	-	-	650	1.628
27/03/98	5	132	1.092	-	-	265	1.225
03/04/98	6	32	800	6.825	4.706	1.410	2.900
10/04/98	7	62	557	4.025	3.870	1.270	1.550
17/04/98	8	175	1.327	2.837	4.730	1.400	2.330
24/04/98	9	72	890	2.515	2.445	805	2.300
01/05/98	10	210	2.805	6.440	3.435	2.175	1.860
08/05/98	11	NC	NC	NC	NC	NC	NC
15/05/98	12	58	640	728	872	480	785
22/05/98	13	NC	230	285	457	315	400

NC - Não conservado

Tabela A.9- Carga de DQO total (mg) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	700	390	-	-	100	-
13/03/98	3	3.390	-	-	-	1.270	-
20/03/98	4	990	-	-	-	1.170	660
27/03/98	5	290	985	-	-	465	575
03/04/98	6	85	1.820	10.800	10.500	2.465	6.070
10/04/98	7	200	1.550	11.550	12.000	3.850	4.410
17/04/98	8	550	3.890	9.360	13.400	4.010	6.740
24/04/98	9	210	2.480	7.070	6.660	2.420	2.300
01/05/98	10	210	2.800	6.440	3.430	2.175	1.860
08/05/98	11	NC	NC	NC	NC	NC	NC
15/05/98	12	180	2.020	2.170	2.700	1.570	2.290
22/05/98	13	NC	715	940	1.550	1.050	1.340

NC - Não conservado

Tabela A.10-Concentração de DQO filtrada (mg O₂/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	130	580	-	-	645	-
13/03/98	3	330	-	-	-	1.240	-
20/03/98	4	100	-	-	-	390	-
27/03/98	5	100	465	-	-	132	1.190
03/04/98	6	270	385	5.020	4.080	480	5.360
10/04/98	7	370	1.550	3.485	2.940	1.610	3.250
17/04/98	8	275	1.370	2.400	3.710	900	1.530
24/04/98	9	30	720	2.160	2.440	805	2.300
01/05/98	10	70	790	2.000	1.140	685	600
08/05/98	11	NC	NC	NC	NC	NC	NC
15/05/98	12	60	640	640	960	480	930
22/05/98	13	NC	240	285	460	315	400

NC - Não conservado

Tabela A.11- Carga de DQO filtrada (mg) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	200	150	-	-	590	-
13/03/98	3	890	-	-	-	1.560	-
20/03/98	4	300	-	-	-	700	145
27/03/98	5	220	420	-	-	230	560
03/04/98	6	720	875	8.000	9.100	840	11.200
10/04/98	7	1.200	4.300	10.000	9.120	4.870	9.270
17/04/98	8	875	4.000	7.920	10.500	2.600	4.420
24/04/98	9	85	2.000	6.060	6.660	2.420	6.420
01/05/98	10	335	3.040	6.440	5.150	2.535	1.950
08/05/98	11	NC	NC	NC	NC	NC	NC
15/05/98	12	180	2.020	1.910	2.970	1.570	2.715
22/05/98	13	NC	760	940	1.650	955	1.340

NC - Não conservado

Tabela A.12-Concentração de NTK-N (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	200	15	-	-	10	-
13/03/98	3	121	-	-	-	8,7	-
20/03/98	4	98	-	-	-	6,8	-
27/03/98	5	83	23	-	-	9,3	231
03/04/98	6	85	80	553	105	22	298
10/04/98	7	60	102	252	112	35	164
17/04/98	8	44	146	75	622	62	73
24/04/98	9	43	145	61	298	31	84
01/05/98	10	33	123	33	276	30	44
08/05/98	11	27	100	17	241	20	44
15/05/98	12	5,8	63	5,8	229	5,8	45
22/05/98	13	NC	NC	NC	NC	NC	NC

NC - Não conservado

Tabela A.13- Carga de NTK-N (mg) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	308	4	-	-	5	-
13/03/98	3	331	-	-	-	11	-
20/03/98	4	298	-	-	-	12	10
27/03/98	5	182	21	-	-	16	109
03/04/98	6	224	181	875	235	62	621
10/04/98	7	194	284	725	348	106	466
17/04/98	8	139	427	247	1.760	92	210
24/04/98	9	120	403	171	1.085	92	234
01/05/98	10	97	438	107	829	96	137
08/05/98	11	81	288	51	713	86	133
15/05/98	12	18	198	17	708	19	132
22/05/98	13	NC	NC	NC	NC	NC	NC

NC - Não conservado

Tabela A.14- Concentração de cloretos (mg Cl/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	4.760	12	-	-	11	-
13/03/98	3	3.380	-	-	-	25	-
20/03/98	4	2.670	-	-	-	32	-
27/03/98	5	3.200	-	-	-	108	160
03/04/98	6	1.860	146	1.026	2.104	194	844
10/04/98	7	1.246	225	1.175	2	261	539
17/04/98	8	1.020	277	971	802	239	339
24/04/98	9	361	206	326	318	219	288
01/05/98	10	NC	NC	NC	NC	NC	NC
08/05/98	11	301	150	248	224	163	240
15/05/98	12	294	139	213	221	134	220
22/05/98	13	292	101	187	214	110	243

NC - Não conservado

Tabela A.15- Concentração de fluoretos (mg F/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	5	ND	-	-	ND	-
13/03/98	3	5	-	-	-	ND	-
20/03/98	4	5	-	-	-	ND	-
27/03/98	5	4,1	-	-	-	ND	4,4
03/04/98	6	4,1	ND	ND	17,4	ND	ND
10/04/98	7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17/04/98	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24/04/98	9	3,2	6,8	18	17	7,9	8,5
01/05/98	10	NC	NC	NC	NC	NC	NC
08/05/98	11	1,7	2,2	6,7	4,2	3,7	4,6
15/05/98	12	1,6	1,5	4,5	3,6	2,4	3,6
22/05/98	13	5	2,6	6	4	1,5	2

NC - Não conservado

ND - Não detectado

Tabela A.16-Concentração de fosfatos-P (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	4	1,3	-	-	3,8	-
13/03/98	3	6,7	-	-	-	3,8	-
20/03/98	4	3,8	-	-	-	2,9	-
27/03/98	5	3,1	-	-	-	7,8	1,8
03/04/98	6	0,9	3,7	6,4	10	6,3	9,7
10/04/98	7	4,3	1,7	4,2	1,5	4,5	8,1
17/04/98	8	3,2	2,9	7,9	3,9	5,3	11
24/04/98	9	1,8	0	2,5	ND	ND	0,1
01/05/98	10	NC	NC	NC	NC	NC	NC
08/05/98	11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15/05/98	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22/05/98	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND

NC - Não conservado

ND - Não detectado

Tabela A.17-Concentração de nitritos-N (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	0,28	ND	-	-	0,01	-
13/03/98	3	1,17	-	-	-	0,02	-
20/03/98	4	1,5	-	-	-	0,01	-
27/03/98	5	3	-	-	-	0,04	0,04
03/04/98	6	0,56	0,14	0,1	0,24	0,07	0,16
10/04/98	7	0,01	0,01	0,06	0,06	0,02	0,13
17/04/98	8	0,05	0,19	0,04	0,05	0,03	0,1
24/04/98	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
01/05/98	10	NC	NC	NC	NC	NC	NC
08/05/98	11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15/05/98	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22/05/98	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND

NC - Não conservado

ND - Não detectado

Tabela A.18-Concentração de nitratos-N (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	ND	ND	-	-	2,2	-
13/03/98	3	ND	-	-	-	2,1	-
20/03/98	4	5,8	-	-	-	2,5	-
27/03/98	5	17	-	-	-	0,8	0,7
03/04/98	6	6,5	1	4,6	2,9	0,7	2,3
10/04/98	7	0,1	0,5	4,4	ND	ND	ND
17/04/98	8	1,6	0,9	2,6	2,2	1,7	1,7
24/04/98	9	4	ND	ND	2,8	ND	ND
01/05/98	10	NC	NC	NC	NC	NC	NC
08/05/98	11	2,6	ND	ND	2	ND	ND
15/05/98	12	2,4	ND	ND	1,8	ND	ND
22/05/98	13	2,4	ND	ND	ND	ND	ND

NC - Não conservado

ND - Não detectado

Tabela A.19-Concentração de sulfatos-SO₄⁻ (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	246	10	-	-	10	-
13/03/98	3	172	-	-	-	20	-
20/03/98	4	292	-	-	-	38	-
27/03/98	5	652	-	-	-	169	50
03/04/98	6	477	180	300	274	328	442
10/04/98	7	332	456	1.272	758	550	633
17/04/98	8	282	398	1.113	703	638	514
24/04/98	9	286	412	1.021	635	824	661
01/05/98	10	NC	NC	NC	NC	NC	NC
08/05/98	11	163	133	751	288	650	474
15/05/98	12	157	98	641	259	572	419
22/05/98	13	126	98	641	259	572	476

NC - Não conservado

Tabela A.20-Concentração de sólidos totais (100 x mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	3,6	-	-	-	5,6	-
13/03/98	3	1,9	-	-	-	2,7	-
20/03/98	4	1,3	-	-	-	4,6	29
27/03/98	5	4,1	16	-	-	6,3	25
03/04/98	6	8,9	13	28	28	12	27
10/04/98	7	5,4	0,7	2,8	0,7	6,2	2,1
17/04/98	8	6,8	2,5	4,4	2,7	0,4	1,3
24/04/98	9	1,2	4,3	6,9	5,9	6,2	8,2
01/05/98	10	0,1	0,3	1,7	1,5	2,3	2,9
08/05/98	11	8,1	2,8	4,8	6,3	6	4,4
15/05/98	12	2,5	2,9	2,7	3,9	2,9	4,1
22/05/98	13	2,5	1,9	2,7	2,8	2,9	4,6

Tabela A.21-Concentração de sólidos fixos (100 x mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	2,3	-	-	-	3,7	-
13/03/98	3	1,8	-	-	-	1,1	-
20/03/98	4	0,7	-	-	-	0,6	17
27/03/98	5	2,1	7,3	-	-	1,5	11
03/04/98	6	6,7	9,1	0,5	7,7	7	13
10/04/98	7	1,9	15	1	1,9	3,9	1,6
17/04/98	8	4,7	1,7	5,7	5,2	1,2	2
24/04/98	9	0,6	2,1	3,7	2,9	0,1	1,5
01/05/98	10	3,1	2,2	3,6	2,3	2	1,9
08/05/98	11	6,4	1	1	3,8	3	1,1
15/05/98	12	0,8	0,9	1,4	1,1	0,8	0,6
22/05/98	13	1,4	1,2	1	0,6	1	1,3

Tabela A.22- Concentração de sólidos voláteis (100 x mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	1,3	-	-	-	2	-
13/03/98	3	0,1	-	-	-	1,6	-
20/03/98	4	0,6	14	-	-	0,4	12
27/03/98	5	2	8,2	-	-	1,5	11
03/04/98	6	2,2	3,4	23	27	4,5	14
10/04/98	7	3,5	14	1,8	1,2	2,3	0,5
17/04/98	8	2,1	0,8	1,3	2,5	0,8	0,7
24/04/98	9	0,6	2,2	3,2	2,9	6,1	6,7
01/05/98	10	3	1,9	1,9	0,8	0,3	1
08/05/98	11	1,7	1,8	3,8	2,5	3	3,3
15/05/98	12	1,7	2	1,3	2,8	2,1	3,4
22/05/98	13	1,1	0,7	1,7	2,2	1,9	3,3

Tabela A.23- Concentração de alumínio (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
13/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	ND	ND	-	-	ND	-
13/03/98	3	ND	-	-	-	ND	-
20/03/98	4	ND	-	-	-	ND	ND
27/03/98	5	ND	-	-	-	ND	0,3
03/04/98	6	0,2	0,7	0,5	1,8	ND	0,2
10/04/98	7	0,1	0,4	0,4	1,5	1,5	ND
17/04/98	8	0,2	0,4	ND	0,2	ND	ND
24/04/98	9	0,3	0,9	0,4	0,2	0,2	0,1
01/05/98	10	0,8	0,8	0,4	0,3	ND	ND
08/05/98	11	0,3	1,2	0,1	0,2	0,1	0,1
15/05/98	12	0,2	1,2	0,3	0,2	0,1	0,1
22/05/98	13	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1

ND - Não detectado

Tabela A.24- Concentração de cádmio (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
13/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	0,04	0,02	-	-	0,02	-
13/03/98	3	0,03	-	-	-	0,01	-
20/03/98	4	0,03	-	-	-	0,01	0,06
27/03/98	5	0,02	-	-	-	0,01	0,02
03/04/98	6	0,02	0,02	0,04	0,06	ND	0,02
10/04/98	7	0,01	ND	0,04	0,05	ND	0,03
17/04/98	8	ND	ND	0,01	0,01	ND	ND
24/04/98	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
01/05/98	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08/05/98	11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15/05/98	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22/05/98	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND - Não detectado

Tabela A.25- Concentração de chumbo (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	0,18	0,39	-	-	0,32	-
13/03/98	3	0,14	-	-	-	0,18	-
20/03/98	4	0,12	-	-	-	0,11	0,75
27/03/98	5	0,08	-	-	-	0,06	0,16
03/04/98	6	0,06	0,08	0,23	0,31	0,08	0,14
10/04/98	7	0,18	0,07	0,47	0,46	0,22	0,28
17/04/98	8	0,12	0,05	0,18	0,12	0,1	0,06
24/04/98	9	0,1	ND	ND	ND	ND	ND
01/05/98	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08/05/98	11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15/05/98	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22/05/98	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND - Não detectado

Tabela A.26- Concentração de cobre (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	0,07	0,08	-	-	0,04	-
13/03/98	3	0,08	-	-	-	0,02	-
20/03/98	4	0,08	-	-	-	0,02	0,2
27/03/98	5	0,06	-	-	-	0,07	0,08
03/04/98	6	0,06	0,08	0,16	0,12	0,04	0,06
10/04/98	7	0,05	0,03	0,1	0,08	0,04	0,07
17/04/98	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24/04/98	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
01/05/98	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08/05/98	11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15/05/98	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22/05/98	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND - Não detectado

Tabela A.27- Concentração de cromo (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	4,1	0,4	-	-	1	-
13/03/98	3	3,8	-	-	-	0,8	-
20/03/98	4	4,8	-	-	-	0,7	3,5
27/03/98	5	4	-	-	-	0,4	16
03/04/98	6	21	0,9	34	33	0,7	12
10/04/98	7	22	1,1	40	28	1	13
17/04/98	8	29	1,1	5	3,4	1,1	1,2
24/04/98	9	17	1,3	4,7	1,8	1,8	1,4
01/05/98	10	27	1,2	3	2,2	1,2	1,2
08/05/98	11	14	1,2	2	1,3	1,2	1,2
15/05/98	12	15	1,3	1,5	0,9	1,3	1,3
22/05/98	13	14	1,6	1,1	1	1,3	1,1

Tabela A.28- Carga de cromo (mg) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	6,4	0,1	-	-	0,5	-
13/03/98	3	10	-	-	-	1,1	-
20/03/98	4	15	-	-	-	1,3	1,4
27/03/98	5	8,8	-	-	-	0,8	7,7
03/04/98	6	56	2,1	54	74	2	26
10/04/98	7	72	3	115	87	3	37
17/04/98	8	92	3,3	17	9,6	3,1	3,4
24/04/98	9	50	3,6	13	4,9	5,4	3,9
01/05/98	10	80	4,3	9,7	6,6	9,5	3,7
08/05/98	11	43	3,5	6	3,9	3,6	3,7
15/05/98	12	46	4,1	4,5	2,8	4,3	2,8
22/05/98	13	44	5	3,6	3,4	4,3	3,7
Σ total (mg)		523,2	29	222,8	192,2	38,9	93,3
Σ total (g)		0,52	0,03	0,22	0,19	0,04	0,09

Tabela A.29- Concentração de ferro (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	0,4	0,9	-	-	0,8	-
13/03/98	3	0,3	-	-	-	0,7	-
20/03/98	4	0,2	-	-	-	0,5	1,5
27/03/98	5	0,2	-	-	-	0,5	0,9
03/04/98	6	0,4	1	2	3,5	0,4	0,8
10/04/98	7	0,8	0,5	1,9	2,9	0,3	0,6
17/04/98	8	1	0,3	1,4	0,9	0,4	0,2
24/04/98	9	1,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,2
01/05/98	10	2,5	0,3	0,5	0,4	0,3	0,2
08/05/98	11	1,5	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
15/05/98	12	1,3	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2
22/05/98	13	2	0,5	0,3	0,3	0,2	1,3

Tabela A.30- Concentração de níquel (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	0,03	ND	-	-	ND	-
13/03/98	3	0,02	-	-	-	ND	-
20/03/98	4	0,02	-	-	-	ND	ND
27/03/98	5	0,02	-	-	-	ND	ND
03/04/98	6	ND	ND	0,02	0,02	ND	0,02
10/04/98	7	0,03	ND	ND	ND	ND	ND
17/04/98	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24/04/98	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
01/05/98	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08/05/98	11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15/05/98	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22/05/98	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND - Não detectado

Tabela A.31- Concentração de zinco (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 1

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
27/02/98	1	-	-	-	-	-	-
06/03/98	2	0,12	0,09	-	-	0,1	-
13/03/98	3	0,08	-	-	-	0,08	-
20/03/98	4	0,07	-	-	-	0,06	1,33
27/03/98	5	0,08	-	-	-	0,08	2,7
03/04/98	6	0,08	0,08	0,36	0,45	0,07	3,25
10/04/98	7	2,7	0,07	0,45	0,42	0,12	2,62
17/04/98	8	0,06	0,09	0,2	0,18	0,12	0,7
24/04/98	9	0,1	0,08	0,13	0,06	0,44	0,58
01/05/98	10	0,23	0,06	0,13	0,16	0,29	0,34
08/05/98	11	0,06	0,01	0,04	0,01	0,09	0,33
15/05/98	12	0,1	0,02	0,03	0,01	0,05	0,28
22/05/98	13	0,06	0,03	0,02	0,01	0,02	0,29

Tabela A32- Volume total (L) percolado pelos lisímetros na Fase 2

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	0,18	-	-	-	1,32	1,16
28/08/98	2	2,29	1,98	2,64	2,56	2,57	2,22
04/09/98	3	2,42	2,44	2,46	2,34	1,99	2,52
11/09/98	4	2,3	2,36	2,16	2,24	2,38	2,38
18/09/98	5	3,11	3,03	3,21	3,08	3,14	3,12
25/09/98	6	3,02	3,26	3,11	3,25	3,35	3,17
02/10/98	7	3,16	3,04	3,02	3,27	3,2	3,09
09/10/98	8	3,09	3	2,75	2,81	3,14	2,97
16/10/98	9	2,72	2,6	2,57	2,59	2,6	2,54
23/10/98	10	2,6	2,42	2,38	2,52	2,54	2,45

Tabela A.33- Valores de cor aparente (mg Pt/L), Fase 2*, período de 18/08 à 23/10/1998

Data	t (dias)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
18/08/98	1	-	-	-	-	400	600
19/08/98	2	-	-	-	-	400	600
20/08/98	3	30	-	-	-	300	500
26/08/98	9	5	-	200	160	200	200
27/08/98	10	0	160	140	160	180	160
28/08/98	11	0	160	120	160	180	160
01/09/98	15	0	120	120	160	180	160
02/09/98	16	0	120	120	160	180	160
03/09/98	17	0	120	120	160	180	160
04/09/98	18	0	100	120	160	160	160
08/09/98	22	0	60	120	160	160	160
09/09/98	23	0	60	120	160	160	160
10/09/98	24	0	60	80	160	160	160
11/09/98	25	NA	NA	NA	NA	NA	NA
14/09/98	28	0	60	60	160	160	160
15/09/98	29	0	35	40	160	160	160
16/09/98	30	0	40	30	140	140	120
17/09/98	31	0	25	30	140	120	80
18/09/98	32	NA	NA	NA	NA	NA	NA
21/09/98	35	0	25	40	160	140	80
22/09/98	36	0	25	25	80	120	80
23/09/98	37	0	15	15	80	80	80
24/09/98	38	0	5	2,5	80	80	80
25/09/98	39	NA	NA	NA	NA	NA	NA
28/09/98	42	0	25	10	80	80	60
29/09/98	43	0	25	20	80	80	60
30/09/98	44	0	25	20	80	80	60
01/10/98	45	0	5	20	40	50	35
02/10/98	46	0	5	10	40	50	35
05/10/98	49	0	5	10	70	50	40
06/10/98	50	0	5	10	70	50	40
07/10/98	51	0	5	10	70	50	40
08/10/98	52	0	5	10	70	50	40
09/10/98	53	NA	NA	NA	NA	NA	NA
12/10/98	56	-	-	-	-	-	-
13/10/98	57	0	5	10	70	50	40
14/10/98	58	0	5	10	70	50	40
15/10/98	59	0	5	10	70	50	40
16/10/98	60	NA	NA	NA	NA	NA	NA
20/10/98	64	0	5	10	50	40	30
21/10/98	65	0	5	10	50	30	30
22/10/98	66	0	5	10	50	30	30
23/10/98	67	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA - Não analisado

FASE 2* - Rega com água destilada acidulada com ácido sulfúrico 6N à pH 3

Tabela A.34- Valores de turbidez (UNT), Fase 2*, período de 18/08 à 23/10/1998

Data	t (dias)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
18/08/98	1	-	-	-	-	8,7	1,2
19/08/98	2	-	-	-	-	8,5	1,2
20/08/98	3	8,1	-	-	-	4,1	6,7
26/08/98	9	6,8	-	4,8	16	2,5	3,3
27/08/98	10	6,5	4,1	6	8,5	5,2	2,6
28/08/98	11	6,5	4,2	5,4	6	5	3
01/09/98	15	NA	NA	NA	NA	NA	NA
02/09/98	16	NA	NA	NA	NA	NA	NA
03/09/98	17	NA	NA	NA	NA	NA	NA
04/09/98	18	NA	NA	NA	NA	NA	NA
08/09/98	22	3,1	6,3	4	6,6	1,5	4,4
09/09/98	23	3	6,3	3	6,6	1,5	4,4
10/09/98	24	2,2	6,1	2,1	6,6	2,5	5,3
11/09/98	25	NA	NA	NA	NA	NA	NA
14/09/98	28	3,1	5	2,5	6,2	2,2	4,4
15/09/98	29	1,8	4,5	1,5	3,6	1,4	2,8
16/09/98	30	1,4	3	1	3,8	1,4	3
17/09/98	31	1,6	4,6	1,8	4,2	1,8	3,8
18/09/98	32	NA	NA	NA	NA	NA	NA
21/09/98	35	1,5	2,5	1,4	3,6	1,4	3
22/09/98	36	1,4	5,5	1,2	3,3	1,5	2,9
23/09/98	37	1,5	5	1,4	3,4	1,6	3,3
24/09/98	38	1	5	1,6	3,2	1,8	3,5
25/09/98	39	NA	NA	NA	NA	NA	NA
28/09/98	42	1,2	4,5	3,6	4	2,8	4
29/09/98	43	1,2	4,8	3,2	3,5	2,3	3,9
30/09/98	44	1,4	3,5	1	3,1	1,4	2,6
01/10/98	45	1,1	4	1	3,1	2	2,2
02/10/98	46	1,7	4,3	1,7	4	1,8	3,2
05/10/98	49	1,7	3,6	1,7	4,2	2,2	2,5
06/10/98	50	1,2	2,4	1,2	3,7	1,5	2,4
07/10/98	51	1,7	5	1,5	4,2	1,6	2,5
08/10/98	52	1,4	3,6	1,2	3,5	1,5	2,2
09/10/98	53	NA	NA	NA	NA	NA	NA
12/10/98	56	-	-	-	-	-	-
13/10/98	57	1,4	2,8	1,1	3,9	1,5	2
14/10/98	58	2	4	1,9	5	1,7	2,5
15/10/98	59	1,7	4,1	1,7	4,1	1,7	2,5
16/10/98	60	NA	NA	NA	-	NA	NA
20/10/98	64	1,5	3,4	1,5	3,7	1,3	1,6
21/10/98	65	1,1	4,6	1,4	3,4	1,7	1,6
22/10/98	66	1,4	4	1,2	3,5	1,5	2
23/10/98	67	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA - Não analisado

FASE 2* - Rega com água destilada acidulada com ácido sulfúrico 6N à pH 3

Tabela A.35- Valores de pH, Fase 2*, período de 18/08 à 23/10/1998

Data	t (dias)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
18/08/98	1	-	-	-	-	7,8	8,1
19/08/98	2	-	-	-	-	7,1	7,9
20/08/98	3	5,3	-	-	-	7,3	7,3
26/08/98	9	4,3	-	8,3	7,6	7,3	7,5
27/08/98	10	3,5	7,3	7	7	6,9	6,7
28/08/98	11	3,9	7,6	7,1	7,5	7	7,1
01/09/98	15	4,2	7,6	7,5	7,5	7	7,1
02/09/98	16	4,1	7,4	7,4	7,5	6,8	7,1
03/09/98	17	3,7	7,3	7,3	7,6	7,1	6,8
04/09/98	18	3,4	6,9	7,2	7,5	6,5	7
08/09/98	22	3,5	7,2	7	7	7,5	7
09/09/98	23	3,5	7	7	7	7	7
10/09/98	24	3,5	6,7	6,9	7,3	6,9	7,1
11/09/98	25	NA	NA	NA	NA	NA	NA
14/09/98	28	4	6,6	7,2	7,1	6,8	6,9
15/09/98	29	3,7	6,7	7	7,4	6,7	7,1
16/09/98	30	3,4	6,2	6,8	7,3	6,3	6,9
17/09/98	31	3,4	6,2	6,3	7,1	6,4	6,7
18/09/98	32	NA	NA	NA	NA	NA	NA
21/09/98	35	3,4	6,4	6,9	7,4	6,7	7
22/09/98	36	3,3	5,8	6,8	7,3	6,5	6,7
23/09/98	37	3,2	5,4	6,6	7,2	6,6	6,8
24/09/98	38	3,1	4,7	6,6	7	6,2	6,8
25/09/98	39	NA	NA	NA	NA	NA	NA
28/09/98	42	3,2	5,6	6,7	7,1	6,8	6,9
29/09/98	43	3,4	5,9	6,6	7,1	6,7	6,9
30/09/98	44	3,2	5,8	6,7	7,2	6,9	6,9
01/10/98	45	3,3	6,1	6,7	7,1	7	6,9
02/10/98	46	3,2	5,2	6,7	7,3	6,3	7,1
05/10/98	49	3,4	5,2	6,7	7,5	6,8	7
06/10/98	50	3,4	5,8	6,9	7,5	7	7,1
07/10/98	51	3,3	5,1	6,6	7,1	6,7	6,9
08/10/98	52	3,2	4,8	6,7	7,1	6,2	7
09/10/98	53	NA	NA	NA	NA	NA	NA
12/10/98	56	-	-	-	-	-	-
13/10/98	57	3,4	5,7	6,7	7,6	6,9	6,9
14/10/98	58	3,3	5	6,5	7	6,6	6,8
15/10/98	59	3,2	4,9	6,6	7,3	6,6	6,9
16/10/98	60	NA	NA	NA	NA	NA	NA
20/10/98	64	3,3	4,8	6,3	7,2	7	6,9
21/10/98	65	3,4	5	6,3	7,2	6,8	6,8
22/10/98	66	3,2	5	6,6	7,1	6,7	6,8
23/10/98	67	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA - Não analisado

FASE 2* - Rega com água destilada acidulada com ácido sulfúrico 6N à pH 3

Tabela A.36- Valores de condutividade ($\mu\text{mhos/cm}$), Fase 2*, período de 18/08 à 23/10/1998

Data	t (dias)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
18/08/98	1	-	-	-	-	1.300	2.100
19/08/98	2	-	-	-	-	1.300	2.100
20/08/98	3	8.000	-	-	-	1.500	2.100
26/08/98	9	3.000	-	2.000	1.000	1.100	1.500
27/08/98	10	2.050	300	900	600	700	950
28/08/98	11	3.150	400	1.120	800	900	1.400
01/09/98	15	3.000	490	1.200	800	950	1.650
02/09/98	16	3.000	450	1.100	900	900	1.400
03/09/98	17	1.900	300	700	600	700	700
04/09/98	18	1.800	330	800	600	600	1.100
08/09/98	22	1.950	375	1.000	500	750	1.150
09/09/98	23	1.900	300	900	500	750	1.000
10/09/98	24	1.450	290	720	400	500	880
11/09/98	25	NA	NA	NA	NA	NA	NA
14/09/98	28	2.800	220	900	390	600	850
15/09/98	29	2.150	300	750	390	580	750
16/09/98	30	1.850	250	780	390	510	880
17/09/98	31	1.200	250	600	340	500	600
18/09/98	32	NA	NA	NA	NA	NA	NA
21/09/98	35	1.500	310	620	380	520	800
22/09/98	36	1.530	200	630	300	450	650
23/09/98	37	1.400	250	600	310	490	700
24/09/98	38	1.250	250	580	350	400	550
25/09/98	39	NA	NA	NA	NA	NA	NA
28/09/98	42	1.300	290	590	320	480	620
29/09/98	43	1.200	220	450	330	390	600
30/09/98	44	1.400	260	510	350	450	760
01/10/98	45	1.450	255	560	300	380	750
02/10/98	46	1.300	230	550	300	430	500
05/10/98	49	1.300	220	510	300	410	600
06/10/98	50	1.300	210	510	300	410	600
07/10/98	51	1.300	190	510	280	350	500
08/10/98	52	1.100	200	500	260	360	550
09/10/98	53	NA	NA	NA	NA	NA	NA
12/10/98	56	-	-	-	-	-	-
13/10/98	57	1.570	230	670	300	400	590
14/10/98	58	1.400	200	500	270	370	500
15/10/98	59	1.200	210	500	310	370	600
16/10/98	60	NA	NA	NA	NA	NA	NA
20/10/98	64	1.100	200	500	290	350	400
21/10/98	65	1.200	210	400	270	300	500
22/10/98	66	1.200	240	500	310	370	600
23/10/98	67	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA - Não analisado

FASE 2* - Rega com água destilada acidulada com ácido sulfúrico 6N à pH 3

Tabela A.37- Concentração de alumínio (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à **Fase 2**

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	0,7	-	-	-	0,1	0,3
28/08/98	2	0,4	1,6	ND	ND	ND	ND
04/09/98	3	ND	1,9	ND	ND	ND	ND
11/09/98	4	0,2	0,6	0,2	ND	0,1	ND
18/09/98	5	0,2	2	ND	0,1	ND	ND
25/09/98	6	0,2	2,6	ND	0,1	0,1	0,1
02/10/98	7	0,6	2,3	0,3	0,4	0,3	0,1
09/10/98	8	0,3	2,9	0,2	0,2	0,3	0,2
16/10/98	9	0,8	2,7	0,4	0,2	0,5	0,1
23/10/98	10	0,2	2,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

ND - Não detectado

Tabela A.38- Concentração de cádmio (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à **Fase 2**

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	ND	-	-	-	ND	ND
28/08/98	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
04/09/98	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11/09/98	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18/09/98	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25/09/98	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
02/10/98	7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09/10/98	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16/10/98	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23/10/98	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND - Não detectado

Tabela A.39- Concentração de chumbo (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à **Fase 2**

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	ND	-	-	-	ND	ND
28/08/98	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
04/09/98	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11/09/98	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18/09/98	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25/09/98	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
02/10/98	7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09/10/98	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16/10/98	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23/10/98	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND - Não detectado

Tabela A.40- Concentração de cobre (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à **Fase 2**

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	ND	-	-	-	ND	ND
28/08/98	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
04/09/98	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11/09/98	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18/09/98	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25/09/98	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
02/10/98	7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09/10/98	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16/10/98	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23/10/98	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabela A.41-Concentração de cromo (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 2

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	13	-	-	-	0,6	-
28/08/98	2	16	2,2	1	1	0,6	0,7
04/09/98	3	28	2,3	1	0,6	0,8	0,7
11/09/98	4	23	0,5	0,6	0,3	0,5	0,5
18/09/98	5	27	1,4	0,5	0,3	0,5	0,4
25/09/98	6	36	1,8	0,6	0,4	0,6	0,4
02/10/98	7	40	1,7	0,8	0,4	0,6	0,5
09/10/98	8	29	1,8	0,7	0,5	0,6	0,5
16/10/98	9	33	1,7	0,8	0,4	0,6	0,5
23/10/98	10	29	1,9	0,5	0,4	0,6	0,5

ND - Não detectado

Tabela A.42-Carga de cromo (mg) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 2

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	2,4	-	-	-	0,8	1,2
28/08/98	2	36	4,4	2,7	2,5	1,6	1,7
04/09/98	3	69	5,6	2,5	1,5	1,5	1,9
11/09/98	4	54	1,1	1,3	0,7	1,3	1,1
18/09/98	5	83	4	1,6	0,9	1,6	1,3
25/09/98	6	108	5,7	1,9	1,3	2,1	1,4
02/10/98	7	128	5,3	2,3	1,2	2	1,6
09/10/98	8	88	5,4	1,8	1,3	1,8	1,4
16/10/98	9	88	4,5	2,1	1	1,4	1,3
23/10/98	10	75	4,6	1,3	0,9	1,4	1,3
Σ total (mg)		731,4	40,6	17,5	11,3	15,5	14,2
Σ total (g)		0,73	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01

ND - Não detectado

Tabela A.43-Concentração de ferro (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 2

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	0,1	-	-	-	0,1	0,1
28/08/98	2	0,5	0,3	0,2	ND	0,3	ND
04/09/98	3	0,9	0,1	0,1	ND	ND	ND
11/09/98	4	0,6	0,1	0,1	0,1	ND	ND
18/09/98	5	0,7	ND	ND	ND	ND	ND
25/09/98	6	1	0,2	ND	ND	0,2	ND
02/10/98	7	2,4	0,2	0,1	ND	ND	ND
09/10/98	8	0,9	0,3	ND	ND	ND	ND
16/10/98	9	0,5	ND	ND	ND	ND	ND
23/10/98	10	0,7	0,2	ND	ND	ND	ND

ND - Não detectado

Tabela A.44-Concentração de níquel (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 2

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	ND	-	-	-	ND	ND
28/08/98	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
04/09/98	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11/09/98	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18/09/98	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25/09/98	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
02/10/98	7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09/10/98	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16/10/98	9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23/10/98	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND - Não detectado

Tabela A.45- Concentração de zinco (mg/L) nos percolados dos lisímetros referente à Fase 2

Data	t (semanas)	L1	L2	L3	L4	L5	L6
20/08/98	1	0,2	-	-	-	0,2	0,4
28/08/98	2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7
04/09/98	3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,6
11/09/98	4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4
18/09/98	5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6
25/09/98	6	0,1	0,1	0,1	ND	0,1	0,4
02/10/98	7	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5
09/10/98	8	ND	0,1	0,1	0,1	ND	0,4
16/10/98	9	ND	0,1	ND	0,1	ND	0,4
23/10/98	10	ND	0,1	ND	ND	ND	0,3

ND - Não detectado

Tabela A.46- Parâmetros físicos encontrados para o Lisímetro 1, Fase 3*, período de 27/10 à 27/11/1998

Data	t (dias)	cor aparente (mg Pt/L)	turbidez (UNT)	pH	condutividade (µmhos/cm)
27/10/98	1	0	1,5	3,3	1.100
28/10/98	2	0	1,5	3,3	1.100
29/10/98	3	0	1,5	3,3	1.200
30/10/98	4	0	1,7	3,2	1.100
03/11/98	5	0	1,7	3,3	1.300
04/11/98	6	0	1,3	3,5	1.200
05/11/98	7	0	1,3	3,2	1.500
06/11/98	8	0	1,7	3,4	1.500
07/11/98	9	0	1,7	3,3	1.500
09/11/98	10	0	2,1	3,5	1.500
10/11/98	11	0	1,5	3,4	1.500
11/11/98	12	-	-	-	-
12/11/98	13	0	1,5	3,3	1.250
13/11/98	14	0	1,5	3,3	1.300
16/11/98	17	0	2,2	3,4	1.500
17/11/98	18	0	1,5	3,4	1.600
18/11/98	19	0	1,5	3,3	1.500
19/11/98	20	0	1,4	3,4	1.100
20/11/98	21	0	1,5	3,6	1.300
23/11/98	24	0	2	3,5	1.300
24/11/98	25	0	1,6	3,6	1.700
25/11/98	26	0	1,7	3,7	1.700
26/11/98	27	0	3,2	3,4	1.600
27/11/98	28	-	-	-	-

FASE 3* - Rega com água destilada acidulada com ácido sulfúrico 6N à pH 3

Tabela A.47- Concentração de metais (mg/L) nos percolados do lisímetro 1 referente à Fase 3.

Data	t (semanas)	alumínio	cádmio	chumbo	cobre	ferro	níquel	zinco
30/10/98	1	0,4	ND	ND	ND	0,4	ND	ND
07/11/98	2	0,4	ND	ND	ND	0,2	ND	ND
13/11/98	3	0,2	ND	ND	ND	0,1	ND	ND
20/11/98	4	0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27/11/98	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND - Não detectado

Tabela A.48-Concentração e carga de cromo nos percolados do lisímetro 1 referentes à Fase 3

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	cromo (mg/L)	cromo (mg)
30/10/98	1	2,46	29,1	71,7
07/11/98	2	2,98	25,8	76,8
13/11/98	3	2,38	29,5	70,3
20/11/98	4	2,90	41,4	120,1
27/11/98	5	2,34	34,3	80,3
Σ total (mg)				419,2
Σ total (g)				0,42

ANEXO B

Tabela B.1- Concentração de metais (mg/kg)* referente às aparas brutas

Lisímetro	alumínio	cádmio	chumbo	cobre	ferro	níquel	zinco
1	<25	<25	<25	<25	1.050	<25	<25
2	550	<25	<25	<25	280	<25	25
3	75	<25	<25	<25	430	<25	50
4	580	<25	<25	<25	1.480	<25	25
5	25	<25	<25	<25	1.750	<25	25
6	75	<25	<25	<25	2.000	<25	75

* base úmida

Tabela B.2- Concentração de metais (mg/kg)* referente às aparas após a Fase 1 (13 semanas)

Lisímetro	alumínio	cádmio	chumbo	cobre	ferro	níquel	zinco
1	<25	<25	<25	<25	750	<25	<25
2	400	<25	<25	<25	280	<25	<25
3	75	<25	<25	<25	400	<25	25
4	630	<25	<25	<25	1.530	<25	25
5	50	<25	<25	<25	850	<25	25
6	50	<25	<25	<25	1.800	<25	50

* base úmida

Tabela B.3- Concentração de metais (mg/kg)* referente às aparas após a Fase 2 (23 semanas)

Lisímetro	alumínio	cádmio	chumbo	cobre	ferro	níquel	zinco
1	<25	<25	<25	<25	675	<25	<25
2	350	<25	<25	<25	300	<25	<25
3	75	<25	<25	<25	350	<25	25
4	725	<25	<25	<25	1.825	<25	25
5	50	<25	<25	<25	275	<25	<25
6	75	<25	<25	<25	2.100	<25	50

* base úmida

Tabela B.4- Concentração de cromo (g/kg)* referente às aparas

Lisímetro	brutas	após Fase 1	após Fase 2	após Fase 3
1	20,1	20,8	20,1	19,8
2	24,2	24,2	24,4	-
3	30	30,8	30,9	-
4	24,8	25	24,9	-
5	25,3	25,1	26,1	-
6	27,7	26,7	27,1	-

* base úmida

Tabela B.5- Concentração de cromo (mg/L) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos aquários* referentes aos Lisímetros 1 e 2

hora	L1-“wet blue”				L2-preto semi-acabado			
	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0
1	11,3	1,4	0,6	0,6	6,4	1,2	1,0	1,4
2	12,2	2,5	0,8	0,4	10,0	1,8	1,4	2,0
3	13,6	3,3	1,2	0,4	13,8	2,4	1,6	2,6
4	16,7	3,4	2,0	1,2	15,8	3,0	2,0	3,8
5	16,7	3,7	2,0	1,2	25,2	3,4	2,2	4,2
6	18,9	8,1	3,4	1,6	27,0	3,8	2,8	5,0

* teste à temperatura ambiente

Tabela B.6-Carga de cromo (mg) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos aquários* referentes aos Lisímetros 1 e 2

hora	L1-“wet blue”				L2-preto semi-acabado			
	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0
1	283	35	15	15	160	30	25	35
2	305	63	20	10	250	45	35	50
3	340	83	30	10	345	60	40	65
4	418	85	50	30	395	75	50	95
5	418	93	50	30	630	85	55	105
6	473	203	85	40	675	95	70	125

* teste à temperatura ambiente

Tabela B.7-Concentração de cromo(mg/L) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos aquários* referentes aos Lisímetros 3 e 4

hora	L3-preto acabado				L4-marrom semi-acabado			
	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0
1	6,6	2,2	1,4	2,0	1,5	2,0	1,8	0,6
2	11,8	3,4	2,0	2,8	8,7	2,8	2,6	1,4
3	16,2	4,4	2,2	3,4	13,6	3,8	2,8	2,2
4	26,4	5,6	2,8	4,0	15,9	5,0	3,6	2,4
5	30,6	6,2	3,2	4,6	18,1	5,4	4,8	2,8
6	34,2	6,6	3,4	5,2	20,1	5,8	5,2	3,4

* teste à temperatura ambiente

Tabela B.8-Carga de cromo (mg) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos aquários* referentes aos Lisímetros 3 e 4

hora	L3-preto acabado				L4-marrom semi-acabado			
	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0
1	165	55	35	50	38	50	45	15
2	295	85	50	70	218	70	65	35
3	405	110	55	85	340	95	70	55
4	660	140	70	100	398	125	90	60
5	765	155	80	115	453	135	120	70
6	855	165	85	130	503	145	130	85

* teste à temperatura ambiente

Tabela B.9-Concentração de cromo (mg/L) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos aquários* referentes aos Lisímetros 5 e 6

hora	L5-marrom acabado				L6-verde acab. e branco semi-acab.			
	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0
1	2,6	0,8	0,2	0,4	4,4	1,6	1,4	0,6
2	4,1	0,6	0,2	0,3	9,5	2,4	1,8	1,5
3	8,5	0,6	0,4	0,3	11,3	2,6	2,6	1,7
4	8,6	0,6	0,4	0,3	12,4	3,2	2,8	2,0
5	9,4	0,6	0,6	0,3	12,9	3,4	3,2	2,4
6	10,4	0,6	0,6	0,4	17,8	3,6	3,6	2,5

* teste à temperatura ambiente

Tabela B.10-Carga de cromo (mg) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos aquários* referentes aos Lisímetros 5 e 6

hora	L5-marrom acabado				L6-verde acab. e branco semi-acab.			
	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0
1	65	20	5	10	110	40	35	15
2	103	15	5	8	238	60	45	38
3	213	15	10	8	283	65	65	43
4	215	15	10	8	310	80	70	50
5	235	15	15	8	323	85	80	60
6	260	15	15	10	445	90	170	63

* teste à temperatura ambiente

Tabela B.11-Concentração de cromo (g/kg) encontrada nas aparas retiradas dos aquários* referentes aos Lisímetros 1 e 2**

hora	L1-“wet blue”				L2-preto semi-acabado			
	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0
1	-	41	34	23	-	35	40	21
2	-	34	32	23	-	34	33	25
3	-	36	33	21	-	35	28	25
4	-	38	33	26	-	37	29	22
5	-	32	31	21	-	38	37	24
6	-	38	33	23	-	28	27	26

* teste à temperatura ambiente

** base úmida

Tabela B.12-Concentração de cromo (g/kg) encontrada nas aparas retiradas dos aquários* referentes aos Lisímetros 3 e 4**

hora	L3-preto acabado				L4-marrom semi-acabado			
	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0
1	-	38	44	22	-	37	40	24
2	-	43	43	25	-	35	37	20
3	-	43	41	25	-	35	38	28
4	-	35	43	25	-	33	39	29
5	-	37	41	27	-	39	38	21
6	-	23	38	30	-	33	31	20

* teste à temperatura ambiente

** base úmida

Tabela B.13-Concentração de cromo (g/kg) encontrada nas aparas retiradas dos aquários* referentes aos Lisímetros 5 e 6**

hora	L5-marrom acabado				L6-verde acab. e branco semi-acab.			
	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0	pH 1,5	pH 2,0	pH 2,5	pH 3,0
1	-	39	39	22	-	50	34	25
2	-	42	42	24	-	32	35	25
3	-	39	42	23	-	34	34	28
4	-	40	32	23	-	39	33	22
5	-	42	34	22	-	35	34	27
6	-	38	36	23	-	65	34	22

* teste à temperatura ambiente

** base úmida

Tabela B.14-Concentração de cromo (mg/L) encontrada nas amostras líquidas retiradas dos aquários* referente a serragem de couro “wet blue” (L1)

hora	L1-“wet blue”			
	40°C	50°C	60°C	70°C
1	4,3	7,3	11	25
2	12	15	29	32
3	20	30	42	72
4	32	46	48	64
5	38	57	65	72
6	41	65	73	98

* teste a pH 2,0 constante

Tabela B.15-Carga de cromo (mg)** encontrada nas amostras líquidas retiradas dos aquários* referente a serragem de couro “wet blue” (L1)

hora	L1-“wet blue”			
	40°C	50°C	60°C	70°C
1	106	181	281	625
2	300	300	733	803
3	507	750	1.045	1.200
4	803	1.150	1.200	1.607
5	955	1.428	1.635	1.802
6	1.035	1.625	1.825	2.458

* teste a pH 2,0 constante

** base úmida

Tabela B.16-Percentual de umidade presente nas aparas brutas

	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Aparas brutas						
Percentual (%)	27	18	16	18	19	14

Tabela B.17-Balanço de massa referente ao metal cromo nas células

	CÉLULA 1 (g)	CÉLULA 2 (g)
APARAS BRUTAS		
(base úmida) (g/kg)		
L1 - “wet blue”	103 x 20,1 = 2.070,3	105 x 20,1 = 2.110,5
L2 - preto semi-acabado	29 x 24,2 = 702	47 x 24,2 = 1.137
L3 - preto acabado	44,5 x 30 = 1.335	50 x 30 = 1.500
L4 - marro semi-acabado	-	17 x 24,8 = 422
L5 - marrom acabado	-	-
L6 - verde acab. e branco semi	20 x 27,7 = 554	-
total de cromo (g)	4.661	5.170
carga de cromo (g) lixiviada no período total de estudo*	62,4	134,8
% p/p base úmida lixiviada	1,3%	2,6%

* valores retirados das tabelas C.12 e C.15

Tabela B.18-Balço de massa referente ao metal **chromo** nos lisímetros

	L1	L2	L3	L4	L5	L6
APARAS BRUTAS						
• base seca (g/kg)	27,5	29,5	35,7	30,2	21,2	32,2
• base úmida (g/kg)	20,1	24,2	30	24,8	25,3	27,7
massa total de chromo (g) presente por lisímetro* em base úmida	160,8	193,6	240	198,4	202,4	221,6
APARAS FASE 1						
• base seca (g/kg)	28,5	29,5	36,7	30,5	31	31
• base úmida (g/kg)	20,8	24,2	30,8	25	25,1	26,7
APARAS FASE 2						
• base seca (g/kg)	27,6	29,8	36,8	30,4	32,2	31,5
• base úmida (g/kg)	20,1	24,4	30,9	24,9	26,1	27,1
APARAS FASE 1						
• base seca (g/kg)	27,1	-	-	-	-	-
• base úmida (g/kg)	19,8	-	-	-	-	-
carga de chromo (g) lixiviada (base úmida) na Fase 1**	0,52	0,03	0,22	0,19	0,04	0,09
% p/p	0,3	0,015	0,092	0,096	0,02	0,04
carga de chromo (g) lixiviada (base úmida) na Fase 2**	0,73	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01
% p/p	0,45	0,02	0,008	0,00004	0,01	0,005
carga de chromo (g) lixiviada (base úmida) na Fase 3**	0,42	-	-	-	-	-
% p/p	0,26	-	-	-	-	-
TOTAL LIXIVIADO (%)	1	≈ 0,04	0,1	≈ 0,1	0,03	≈ 0,05

*8 kg de couro em cada lisímetro

** valores retirados das Tabela A.28, A.42 e A.48

Tabela B.19-Balço de massa referente ao metal **chromo** presente na serragem de couro “wet blue” no teste em aquários a pH 2,0

temperatura	40°C	50°C	60°C	70°C
APARAS BRUTAS				
• base úmida* (g/kg)	20,1	20,1	20,1	20,1
massa total de chromo (g) presente por aquário** em base úmida	4	4	4	4
carga de chromo (g) solubilizado*				
1h	0,11	0,18	0,28	0,63
2h	0,3	0,3	0,73	0,8
3h	0,51	0,75	1,05	1,2
4h	0,8	1,15	1,2	1,6
5h	0,96	1,43	1,6	1,8
6h	1,04	1,63	1,8	2,5
TOTAL MÁXIMO SOLUBILIZADO (%)	26	41	45	62,5

* umidade de 27%

**0,25 kg de couro em cada aquário (por teste)

Tabela B.20-Balço de massa referente ao metal **romo** no teste em aquários à temperatura ambiente

	L1	L2	L3	L4	L5	L6
APARAS BRUTAS						
• base úmida* (g/kg)	20,1	24,2	30	24,8	25,3	27,7
massa total de cromo (g) presente por aquário** em base úmida	5	6	7,5	6,2	6,3	6,9
carga de cromo(g) solubilizada* (pH 1,5)						
1h	0,283	0,160	0,165	0,038	0,065	0,110
2h	0,305	0,250	0,295	0,218	0,103	0,238
3h	0,340	0,345	0,405	0,340	0,213	0,283
4h	0,418	0,395	0,660	0,398	0,215	0,310
5h	0,418	0,630	0,765	0,453	0,235	0,323
6h	0,473	0,675	0,855	0,503	0,260	0,445
total	2,237	2,455	3,145	1,95	1,091	1,709
% p/p	44,7	40,9	41,9	31,5	17,3	24,8
carga de cromo (g) solubilizada* (pH 2,0)						
1h	0,035	0,030	0,055	0,050	0,020	0,040
2h	0,063	0,045	0,085	0,070	0,015	0,060
3h	0,083	0,060	0,110	0,095	0,015	0,065
4h	0,085	0,075	0,140	0,125	0,015	0,080
5h	0,093	0,085	0,155	0,135	0,015	0,085
6h	0,203	0,095	0,165	0,145	0,015	0,090
total	0,562	0,390	0,740	0,620	0,095	0,420
% p/p	11,2	6,5	9,9	10	1,5	6,1
carga de cromo (g) solubilizada* (pH 2,5)						
1h	0,015	0,025	0,035	0,045	0,005	0,035
2h	0,020	0,035	0,050	0,065	0,005	0,045
3h	0,030	0,040	0,055	0,070	0,010	0,065
4h	0,050	0,050	0,070	0,090	0,010	0,070
5h	0,050	0,055	0,080	0,120	0,015	0,080
6h	0,085	0,070	0,085	0,130	0,015	0,170
total	0,250	0,275	0,375	0,520	0,06	0,465
% p/p	5	4,6	5	8,4	1	6,7
carga de cromo (g) solubilizada* (pH 3,0)						
1h	0,015	0,035	0,050	0,015	0,008	0,015
2h	0,010	0,050	0,070	0,035	0,010	0,038
3h	0,010	0,065	0,085	0,055	0,010	0,043
4h	0,030	0,095	0,100	0,060	0,010	0,050
5h	0,030	0,105	0,115	0,070	0,010	0,060
6h	0,040	0,125	0,130	0,085	0,008	0,063
total	0,135	0,475	0,550	0,320	0,056	0,269
% p/p	2,7	7,9	7,3	5,2	0,9	4

* base úmida

**0,25 kg de couro em cada aquário (por teste)

ANEXO C

Tabela C.1-Precipitação pluviométrica (mm) registrada na cidade de Porto Alegre nos meses relativos à pesquisa

t (dias)	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	9,2	0,3	6,6	-	-
5	0,9	9,7	-	13,9	-
6	0,1	0,1	-	7,8	6,6
7	4,6	-	0,6	7,6	4,1
8	-	-	-	-	0,5
9	-	1,5	2,9	2,5	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	15,1	-
12	9,9	-	-	16,6	-
13	32,1	-	-	18,2	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	1,5	-	-	-
17	0,2	12,3	18,8	6,3	-
18	49,3	-	7	1,4	-
19	0,4	-	-	-	-
20	1,5	-	-	-	-
21	3	-	-	2,4	-
22	0,3	-	-	16,1	-
23	1	-	-	3,1	-
24	0,3	4,8	-	-	-
25	-	-	10,7	-	-
26	-	5,5	0,8	-	-
27	12,1	5,9	-	-	-
28	0,4	2,8	-	-	-
29	-	-	-	23,3	-
30	-	-	-	0,3	-
31	-	-	-	-	-
Total	137,5mm	44,4mm	47,4mm	134,6mm	11,2mm

Fonte: 8º DISTRITO DE METEOROLOGIA - INMET - Porto Alegre-RS

Tabela C.2- Resultados das análises realizadas na matéria orgânica utilizada na montagem das Células

Parâmetro	Unidade	Célula 1	Célula 2
nH		3,4	4,5
NTK-N	%	13,9	14,8
DQO	g/kg	650	750
densidade	g/cm ³	1,27	1,29
Sólidos Totais	%	16	18
Sólidos Fixos	%	0,8	0,7
Sólidos Voláteis	%	15,2	17,3
Umidade	%	84	82
Alumínio	%	0,003	0,002
Cádmio	%	0,006	0,004
Chumbo	%	0,003	0,002
Cromo	%	0,003	0,002
Ferro	%	0,006	0,004
Níquel	%	0,003	0,002
Zinco	%	0,002	0,002
Cálcio	%	0,39	0,37
Potássio	%	0,27	0,28
Magnésio	%	0,04	0,04
Manganês	%	<0,003	<0,002
Sódio	%	1	1

ND - Não detectado

% -p/p

Tabela C.3- Parâmetros físicos encontrados para a Célula 1*, período de 21/09 à 30/12/1998

Data	t (dias)	volume lixiviado (L)	precipitação total diária (mm)	cor aparente (mg Pt/L)	pH	potencial redox	condutividade (µmhos/cm)
21/09/98	1	20	3	2.500	4,3	70	13.800
22/09/98	2	5,5	0,3	3.000	4,5	92	13.000
23/09/98	3	3,5	1	2.500	4,5	42	15.000
24/09/98	4	2,9	0,3	2.500	4,4	66	15.000
25/09/98	5	1	-	2.500	4,6	62	16.500
28/09/98	8	8,2	0,4	3.000	4,6	-7	13.500
29/09/98	9	3	-	3.000	4,5	84	15.000
30/09/98	10	1,2	-	3.000	4,5	75	16.100
01/10/98	11	0,3	-	3.000	4,7	60	13.000
02/10/98	12	-	-	-	-	-	-
05/10/98	15	-	9,7	-	-	-	-
06/10/98	16	0,4	0,1	3.000	5,1	4	17.000
07/10/98	17	1,1	-	5.000	4,8	14	14.000
08/10/98	18	1,1	-	5.000	5,2	4	14.000
09/10/98	19	0,5	1,5	5.000	5,8	-34	14.000
14/12/98	84	6	-	6.000	6,3	-251	14.500
15/12/98	85	1	-	6.000	6,3	-67	13.500
16/12/98	86	1	-	5.500	6,3	-67	15.000
17/12/98	87	0,2	6,3	5.000	6,3	-40	16.000
18/12/98	88	1	1,4	5.000	5,2	-47	16.000
20/12/98	90	1	-	2.000	5,9	-180	15.000
21/12/98	91	1	2,4	2.000	5,9	-183	15.000
22/12/98	92	1	16,1	1.500	5,7	-186	10.000
23/12/98	93	0,7	3,1	750	5,8	-173	10.000
28/12/98	98	1,3	-	750	6,7	-198	12.000
29/12/98	99	1	23,3	750	6,6	-25	11.000
30/12/98	100	1	0,3	500	6,3	-60	13.100

Célula 1* - célula mantida descoberta, com rega natural da chuva

Tabela C.4- Parâmetros físicos encontrados para a **Célula 2***, período de 28/10/1998 à 08/01/1999

Data	t (dias)	volume lixiviado (L)	cor aparente (mg Pt/L)	pH	potencial redox	condutividade (μ hos/cm)
28/10/98	1	12	3.500	4,3	66	24.000
29/10/98	2	8	4.000	4,4	65	21.000
30/10/98	3	10	4.000	4,2	100	21.000
03/11/98	7	6	5.000	4	161	17.000
12/11/98	16	0,3	4.000	4,3	127	13.000
16/11/98	20	6	5.000	4,3	110	11.000
17/11/98	21	8	5.000	4,3	113	11.000
18/11/98	22	9	4.000	4	154	11.000
19/11/98	23	10	2.000	4,2	172	9.000
20/11/98	24	13	1.600	4,4	165	7.900
23/11/98	27	18	2.000	4,8	80	10.000
24/11/98	28	8	1.600	4,8	160	10.000
25/11/98	29	8	1.600	4,7	32	10.000
26/11/98	30	10	1.500	4,5	149	10.000
27/11/98	31	8	1.200	4,5	96	7.000
30/11/98	34	20	1.500	4,7	76	9.000
01/12/98	35	10	1.200	4,9	183	7.500
02/12/98	36	8	1.200	4,9	50	8.600
03/12/98	37	8	750	4,2	115	10.000
04/12/98	38	8	750	4,1	33	7.500
07/12/98	41	20	750	4,6	22	6.500
08/12/98	42	8	750	4,4	76	6.500
09/12/98	43	8	750	4,5	36	6.500
10/12/98	44	8	750	4,5	48	6.000
14/12/98	48	20	500	4,7	-239	5.000
15/12/98	49	7	500	4,6	-64	7.000
16/12/98	50	6	500	4,7	-81	7.000
17/12/98	51	6	400	5	-20	5.500
18/12/98	52	7	400	4,5	-20	5.000
20/12/98	54	8	400	4,8	-151	5.000
21/12/98	55	8	300	4,7	-68	4.000
22/12/98	56	8	300	5	-111	4.000
23/12/98	57	10	300	5	-108	5.000
28/12/98	63	20	300	5,4	-126	5.000
29/12/98	64	4	300	6	-140	6.500
30/12/98	65	6	300	5,9	-48	6.100
04/01/99	70	8	300	6	-137	6.000
05/01/99	71	1	300	5,6	-119	6.000
06/01/99	72	2	300	5,3	-58	4.500
07/01/99	73	6	300	5,4	-20	4.500
08/01/99	74	10	300	5,5	-79	4.500

Célula 2* - célula mantida coberta, com rega diária de 28L

Tabela C.5- Concentração e carga de DQO total referente à Célula 1

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	DQO ñf (mg/L)	DQO ñf (g)	DQO f (mg/L)	DQO f (g)
25/09/98	1	32,9	34.712	1.142	28.570	940
02/10/98	2	12,7	39.165	497	27.162	345
09/10/98	3	3	39.637	119	39.947	120
18/12/98	12	9,2	32.000	294	29.440	271
23/12/98	13	3,7	19.437	72	27.505	102
30/12/98	14	3,3	23.470	78	22.005	73

ñf - não filtrada

f - filtrada

Tabela C.6- Concentração e carga de DQO total referente à Célula 2

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	DQO ñf (mg/L)	DQO ñf (g)	DQO f (mg/L)	DQO f (g)
30/10/98	1	30	46.080	1.382	46.670	1.400
13/11/98	3	0,3	24.371	-	24.980	-
20/11/98	4	46	17.080	786	24.980	1.150
27/11/98	5	52	16.000	832	16.640	866
04/12/98	6	54	14.080	760	15.300	826
10/12/98	7	42	8.640	363	7.680	322
18/12/98	8	46	8.960	412	9.600	441
23/12/98	9	34	4.400	150	4.400	150
30/12/98	10	30	5.500	165	8.435	253
08/01/99	11	27	10.700	290	11.300	305

ñf - não filtrada

f - filtrada

Tabela C.7- Concentração e carga de NTK-N e amônia-N referente à Célula 1

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	NTK-N (mg/L)	NTK-N (g)	amônia-N (mg/L)	amônia-N (g)
25/09/98	1	32,9	648	21,3	319	11
02/10/98	2	12,7	795	10,1	484	6,1
09/10/98	3	3	787	2,4	511	1,5
18/12/98	12	9,2	9914	8,4	1.243	11
23/12/98	13	3,7	1.280	4,7	1.413	5,2
30/12/98	14	3,3	915	3	1.270	4,2

Tabela C.8- Concentração e carga de NTK-N e amônia-N referente à Célula 2

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	NTK-N (mg/L)	NTK-N (g)	amônia-N (mg/L)	amônia-N (g)
30/10/98	1	30	835	25	312	9
13/11/98	3	0,3	838	-	347	-
20/11/98	4	46	490	23	583	27
27/11/98	5	52	432	23	864	45
04/12/98	6	54	479	26	791	43
10/12/98	7	42	356	15	791	33
18/12/98	8	46	428	20	1088	50
23/12/98	9	34	390	13	983	30
30/12/98	10	30	413	12	1.208	41
08/01/99	11	27	375	10	983	27

Tabela C.9- Concentração de sólidos (g/L) referente à Célula 1

Data	t (semanas)	sólidos totais	sólidos fixos	sólidos voláteis
25/09/98	1	43,9	21,8	22,2
02/10/98	2	44,4	21,2	23,2
09/10/98	3	41,8	21,2	20,7
18/12/98	12	32,4	17,1	15,3
23/12/98	13	26,8	15,6	11,2
30/12/98	14	27,2	16	11,2

Tabela C.10- Concentração de sólidos (g/L) referente à Célula 2

Data	t (semanas)	sólidos totais	sólidos fixos	sólidos voláteis
30/10/98	1	42,4	18,3	24,1
13/11/98	3	32,1	15,2	16,9
20/11/98	4	16,6	8,7	8
27/11/98	5	13,4	7,2	6,2
04/12/98	6	13	6,8	6,2
10/12/98	7	8,3	4,5	3,8
18/12/98	8	8,2	4,5	3,7
23/12/98	9	8,1	4,5	3,6
30/12/98	10	9,3	5,4	3,9
08/01/99	11	8,6	4,6	4

Tabela C.11- Concentração de metais (mg/L) referente à Célula 1

Data	t (semanas)	alumínio	cádmio	chumbo	cobre	ferro	níquel	zinco
25/09/98	1	84	0,1	<0,1	0,1	544	0,4	4,4
02/10/98	2	79	0,1	<0,1	0,1	617	0,4	4,7
09/10/98	3	NA	<0,1	<0,1	0,1	19	0,4	3,2
18/12/98	12	1	<0,1	<0,1	<0,1	50	0,3	<0,1
23/12/98	13	1	<0,1	<0,1	<0,1	79	0,5	0,1
30/12/98	14	1	<0,1	<0,1	<0,1	63	0,5	0,1

ND - Não detectado

NA - Não analisado

Tabela C.12- Concentração e carga de cromo referente à Célula 1

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	cromo (mg/L)	cromo (g)
25/09/98	1	32,9	1.198	39
02/10/98	2	12,7	1.597	20
09/10/98	3	3	728	2,2
18/12/98	12	9,2	77	0,7
23/12/98	13	3,7	75	0,3
30/12/98	14	3,3	64	0,2
			Total	62,4

Tabela C.13- Concentração de micro e macro nutrientes (mg/L) referente à Célula 1

Data	t (semanas)	cálcio	potássio	magnésio	manganês	sódio
25/09/98	1	3.340	1.537	2.902	28	2.868
02/10/98	2	3.557	1.561	3.061	35	2.735
09/10/98	3	3.200	1.510	1.081	33	1.875
18/12/98	12	1.800	665	562	6,3	1.113
23/12/98	13	1.750	605	906	6,9	2.050
30/12/98	14	1.780	581	948	6,4	2.081

ND - Não detectado

Tabela C.14- Concentração de metais (mg/L) referente à Célula 2

Data	t (semanas)	alumínio	cádmio	chumbo	cobre	ferro	níquel	zinco
30/10/98	1	42,7	ND	<0,1	<0,1	4,3	0,1	3
13/11/98	3	28,3	ND	<0,1	<0,1	5	0,1	3,2
20/11/98	4	10,2	ND	<0,1	0,1	58	0,1	0,9
27/11/98	5	6,4	ND	<0,1	0,1	79	0,1	0,6
04/12/98	6	3,2	ND	<0,1	0,1	83	0,1	0,7
10/12/98	7	2	ND	ND	<0,1	25	0,1	0,4
18/12/98	8	1	ND	ND	<0,1	10	<0,1	0,1
23/12/98	9	2	ND	ND	<0,1	21	<0,1	0,1
30/12/98	10	2	ND	ND	<0,1	21	<0,1	0,1
08/01/99	11	2	ND	ND	<0,1	23	<0,1	0,1

ND - Não detectado

Tabela C.15- Concentração e carga de cromo referente à Célula 2

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	cromo (mg/L)	cromo (g)
30/10/98	1	30	904	27
13/11/98	3	0,3	656	-
20/11/98	4	46	548	25
27/11/98	5	52	420	22
04/12/98	6	54	417	23
10/12/98	7	42	310	13
18/12/98	8	46	140	6,4
23/12/98	9	34	236	8
30/12/98	10	30	196	5,9
08/01/99	11	27	191	5,2
			Total	134,8

Tabela C.16- Concentração de micro e macro nutrientes (mg/L) referente à Célula 2

Data	t (semanas)	cálcio	potássio	magnésio	manganês	sódio
30/10/98	1	1.180	893	198	4,8	2.750
13/11/98	3	843	730	175	4,8	1.800
20/11/98	4	805	750	174	4,3	1.028
27/11/98	5	796	810	151	4,3	416
04/12/98	6	802	800	145	3,5	420
10/12/98	7	701	712	145	2,2	310
18/12/98	8	465	375	80	1,3	250
23/12/98	9	720	605	80	2,5	392
30/12/98	10	865	544	85	2,5	419
08/01/99	11	155	678	34	1	317

ND - Não detectado

Tabela C.17- Concentração e carga de acidez referente à Célula1

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	acidez (mg CaCO ₃ /L)	acidez (g CaCO ₃)
25/09/98	1	32,9	830	27
02/10/98	2	12,7	2.654	34
09/10/98	3	3	995	3
18/12/98	12	9,2	500	4,6
23/12/98	13	3,7	1.280	4,7
30/12/98	14	3,3	978	3,2

Tabela C.18- Concentração e carga de acidez referente à Célula2

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	acidez (mg CaCO ₃ /L)	acidez (g CaCO ₃)
30/10/98	1	30	1.758	53
13/11/98	3	0,3	2.911	-
20/11/98	4	46	1.794	83
27/11/98	5	52	1.323	69
04/12/98	6	54	1.471	79
10/12/98	7	42	1.330	56
18/12/98	8	46	882	41
23/12/98	9	34	1.152	39
30/12/98	10	30	1.390	42
08/01/99	11	27	1.441	39

Tabela C.19- Concentrações de ácidos orgânicos voláteis (mg/L) nos percolados da Célula 1

Data	t (semanas)	ác. acético	ác. propiónico	ác. iso- butírico	ác. butírico	ác. iso- valérico	ác. valérico
25/09/98	1	866	6,8	-	-	-	-
02/10/98	2	3.622	284	-	-	-	-
09/10/98	3	2.178	-	-	29	-	-
18/12/98	12	5.864	3.219	339	127	-	-
23/12/98	13	2.854	1.258	108	11	-	-
30/12/98	14	2.751	2.563	45	88	-	-

Tabela C.20- Concentrações de ácidos orgânicos voláteis (mg/L) nos percolados da Célula 2

Data	t (semanas)	ác. acético	ác. propiónico	ác. iso- butírico	ác. butírico	ác. iso- valérico	ác. valérico
30/10/98	1	1.258	855		62		1.234
20/11/98	4	8.516	3.752	8.1	708	14.4	6.9
27/11/98	5	933	22				67
04/12/98	6	1.022	67	45	486		
18/12/98	8	1.236	853	215	304		
23/12/98	9	3.463	1.762	3.8	352		
30/12/98	10	4.562	985	23	362		
08/01/99	11	3.215	856	45	180		

Tabela C.21- Concentração e carga de ácidos voláteis expressa em termos de ácido acético referente à Célula 1

Data	t (semanas)	volume lixiviado (L)	ác. acético (mg/L)	ác. acético (mg)
25/09/98	1	32,9	871	28.655
02/10/98	2	12,7	3.852	48.920
09/10/98	3	3	2.198	6.594
18/12/98	12	9,2	8.791	80.877
23/12/98	13	3,7	3.955	14.633
30/12/98	14	3,3	4.920	16.236

Tabela C.22- Concentração e carga de ácidos voláteis expressa em termos de ácido acético referente à Célula 2

Data	t (semanas)	volume lixiviado	ác. acético (mg/L)	ác. acético (mg)
30/10/98	1	30	2.719	81.570
13/11/98	3	0,3	-	-
20/11/98	4	46	12.058	554.668
27/11/98	5	52	991	51.532
04/12/98	6	54	1.438	77.652
10/12/98	7	42	-	-
18/12/98	8	46	2.280	104.880
23/12/98	9	34	5.135	174.590
30/12/98	10	30	5.623	168.690
08/01/99	11	27	4.062	109.674

ANEXO D

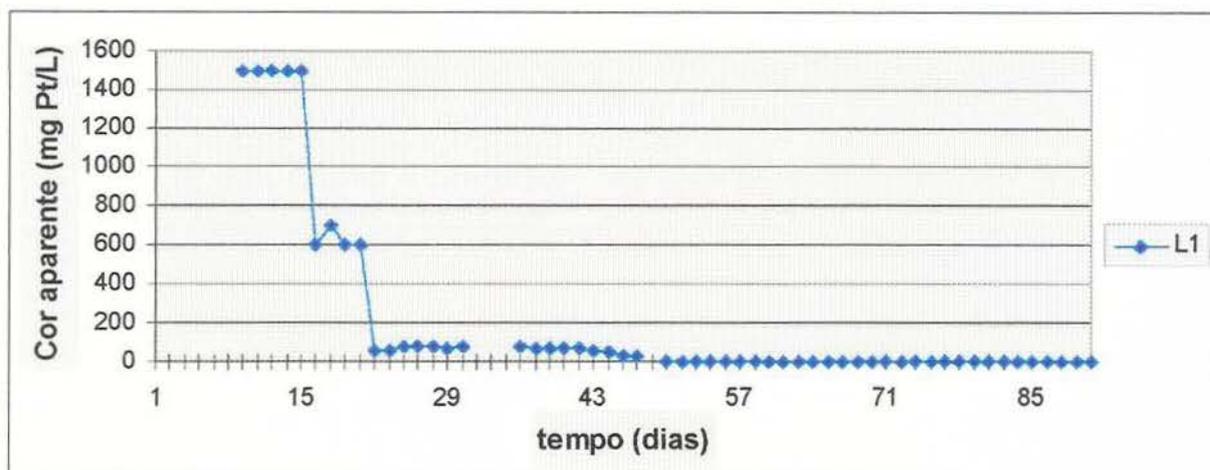


Figura D.1- Comportamento da cor aparente do percolado no L1 ("wet blue") - Fase 1

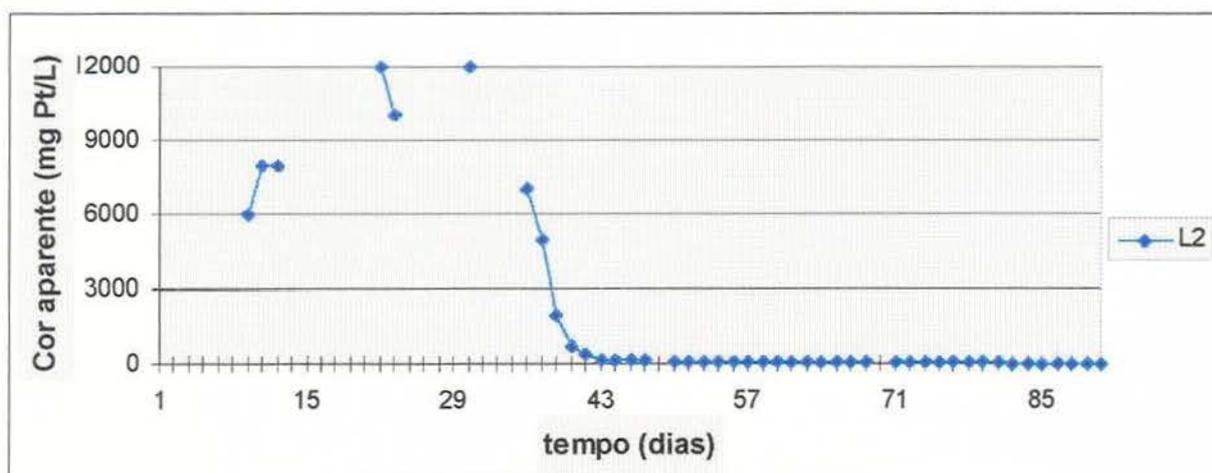


Figura D.2- Comportamento da cor aparente do percolado no L2 (preto semi) - Fase 1



Figura D.3- Comportamento da cor aparente do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 1

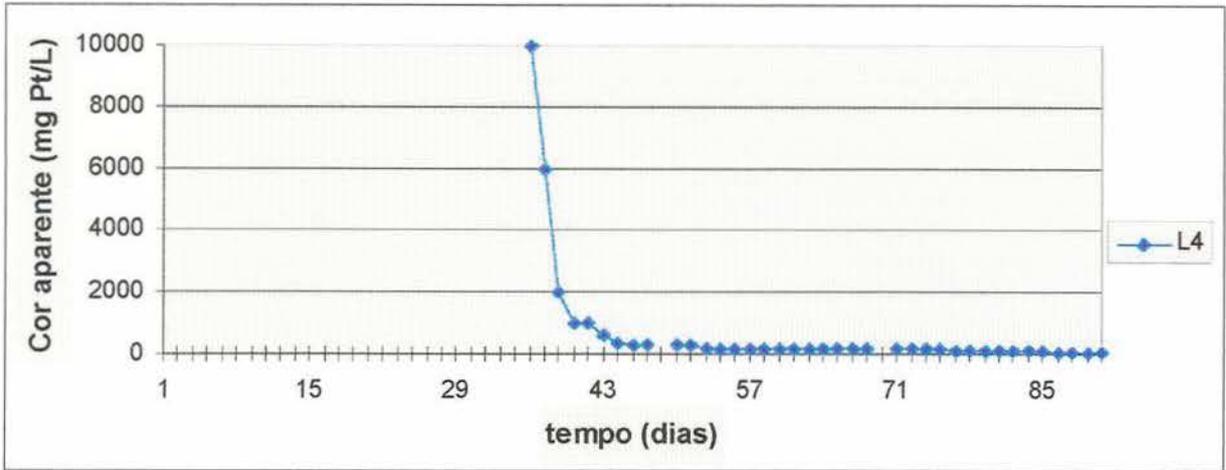


Figura D.4- Comportamento da cor aparente do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 1

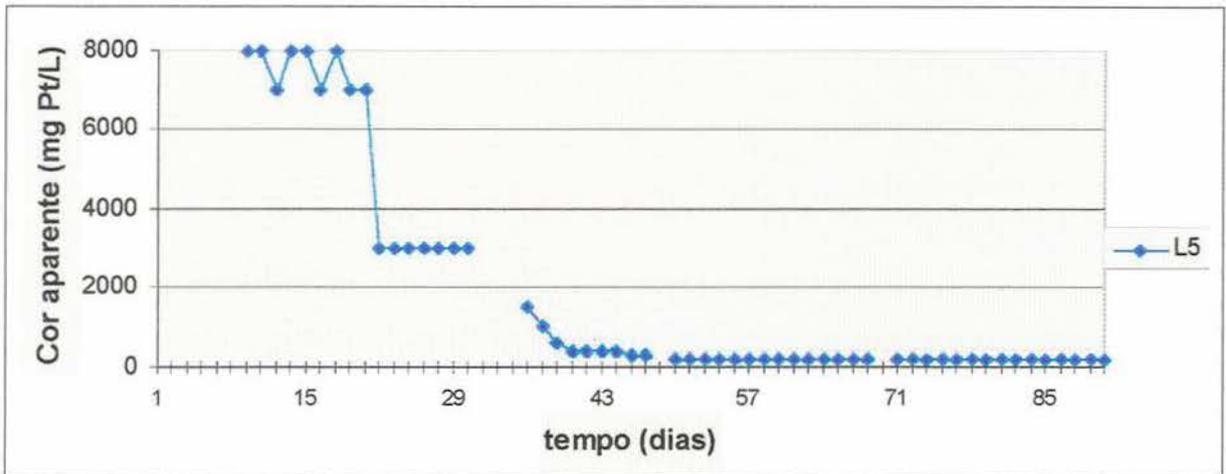


Figura D.5- Comportamento da cor aparente do percolado no L5 (marrom acab.) - Fase 1

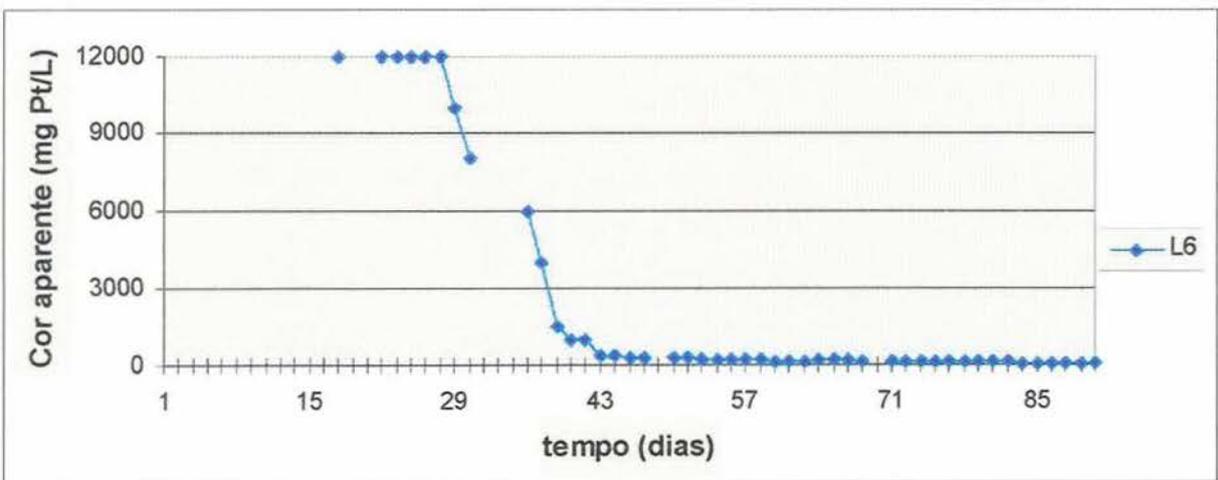


Figura D.6-Comportamento da cor aparente do percolado no L6 (verde acab. e branco semi).- Fase 1

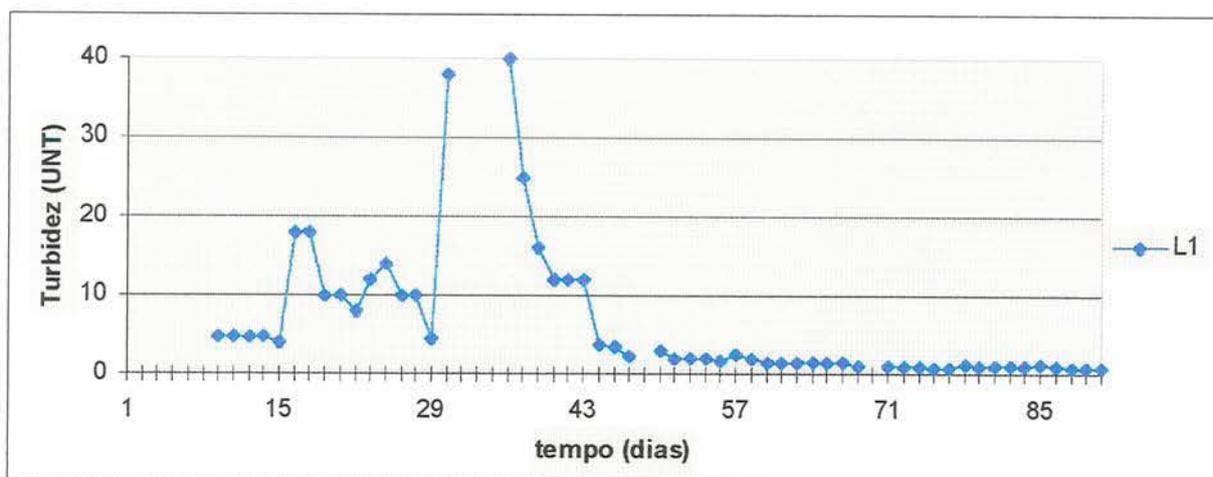


Figura D.7- Comportamento da turbidez do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 1

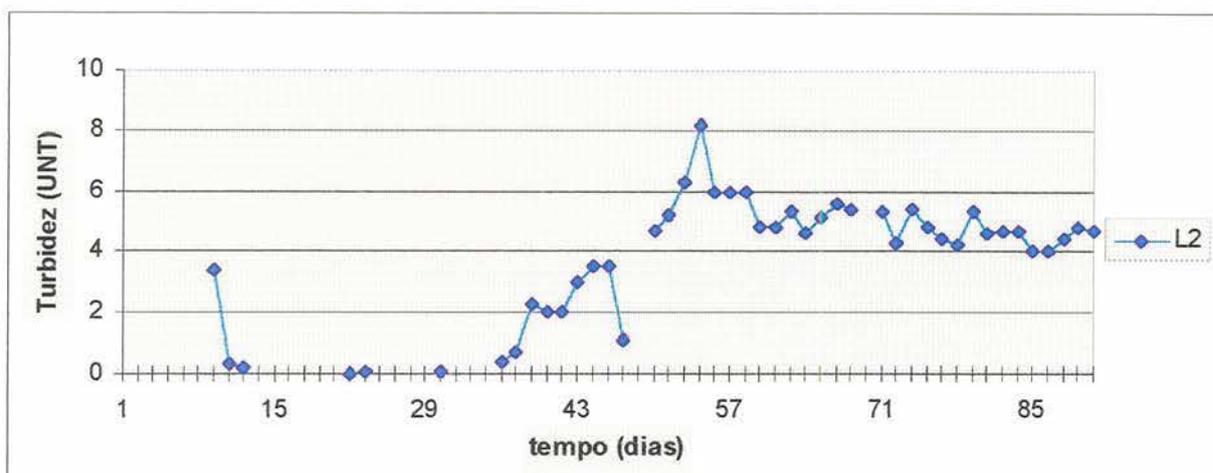


Figura D.8- Comportamento da turbidez do percolado no L2 (preto semi) - Fase 1

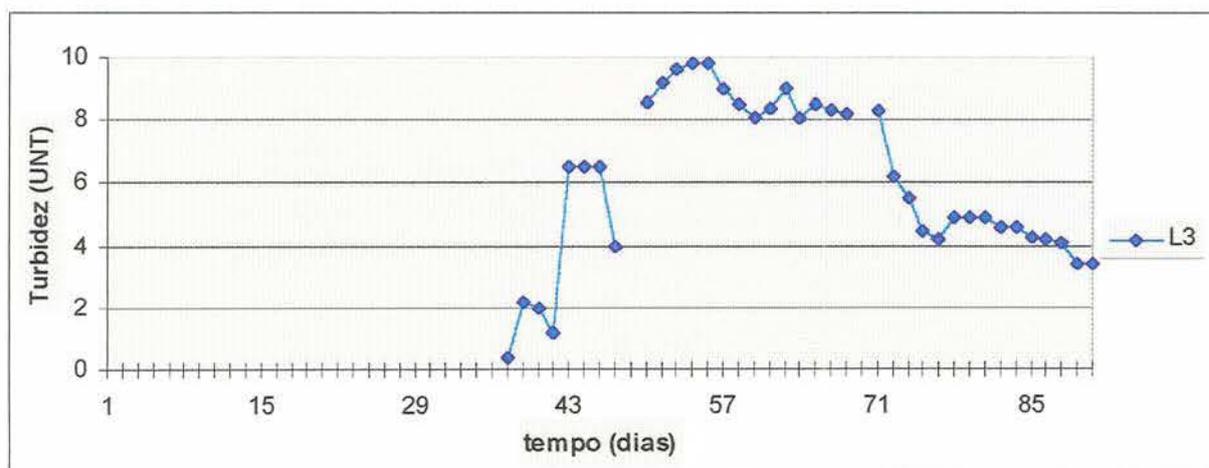


Figura D.9- Comportamento da turbidez do percolado no L3 (preto acab) - Fase 1

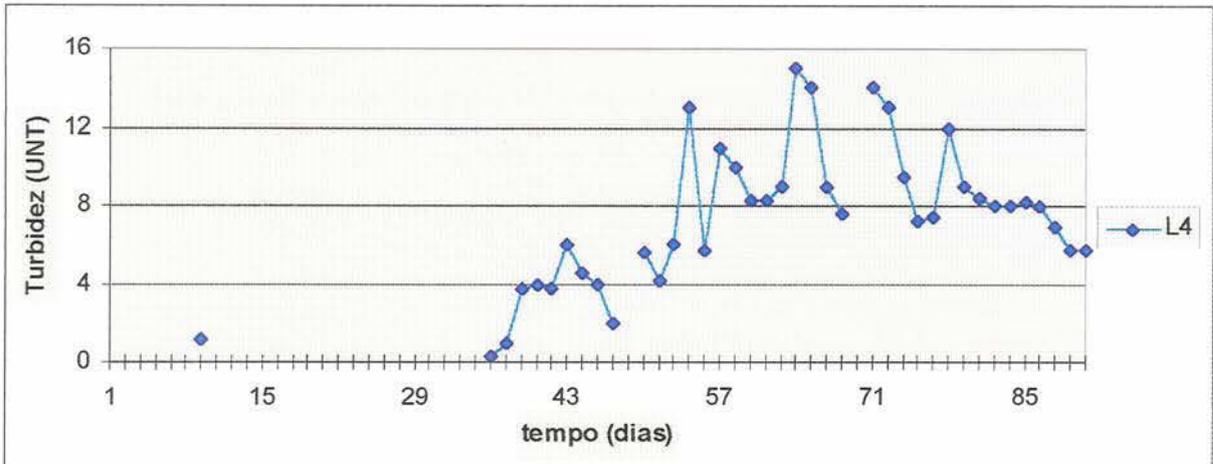


Figura D.10- Comportamento da turbidez do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 1

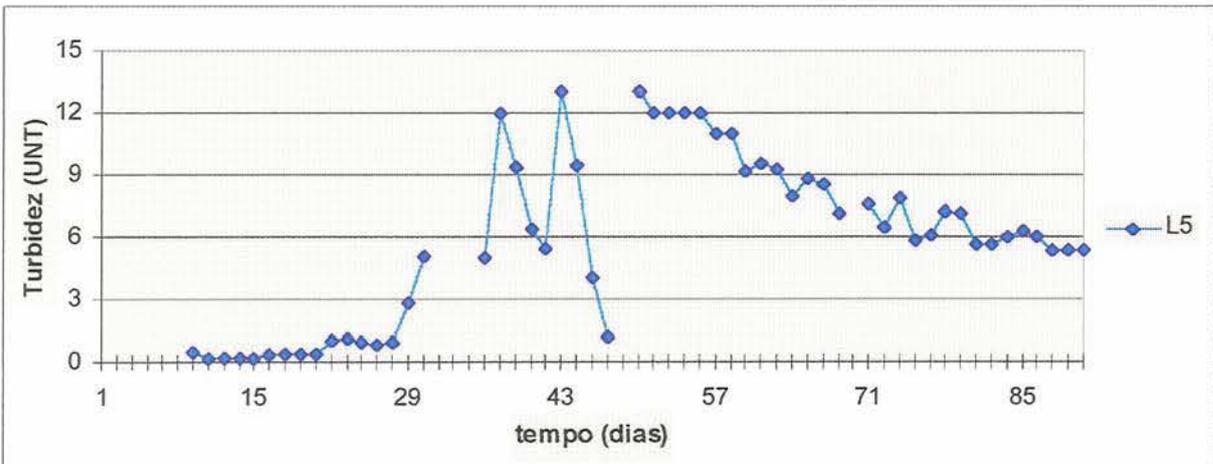


Figura D.11- Comportamento da turbidez do percolado no L5 (marrom acab.) - Fase 1

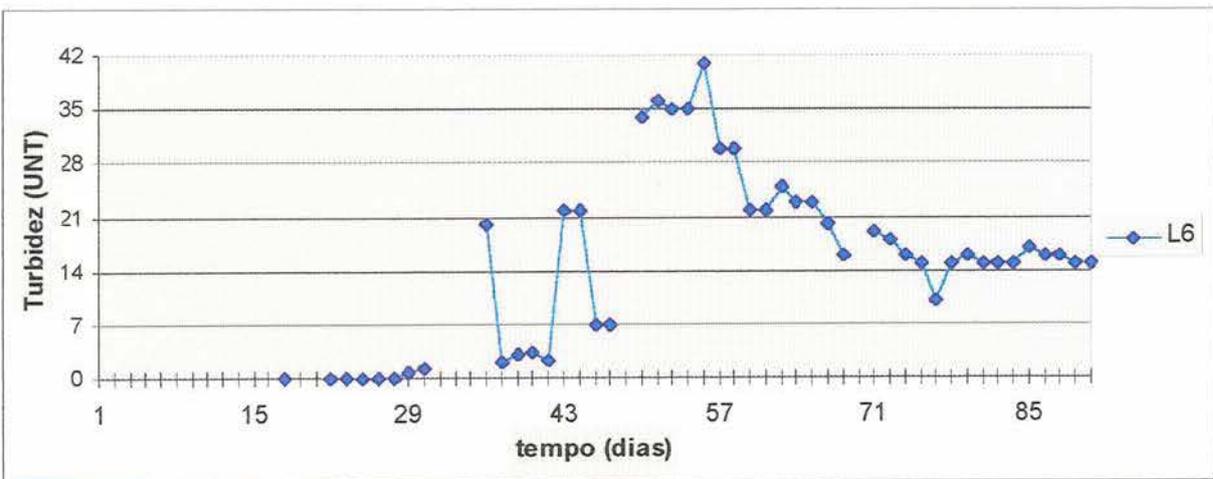


Figura D.12-Comportamento da turbidez do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 1

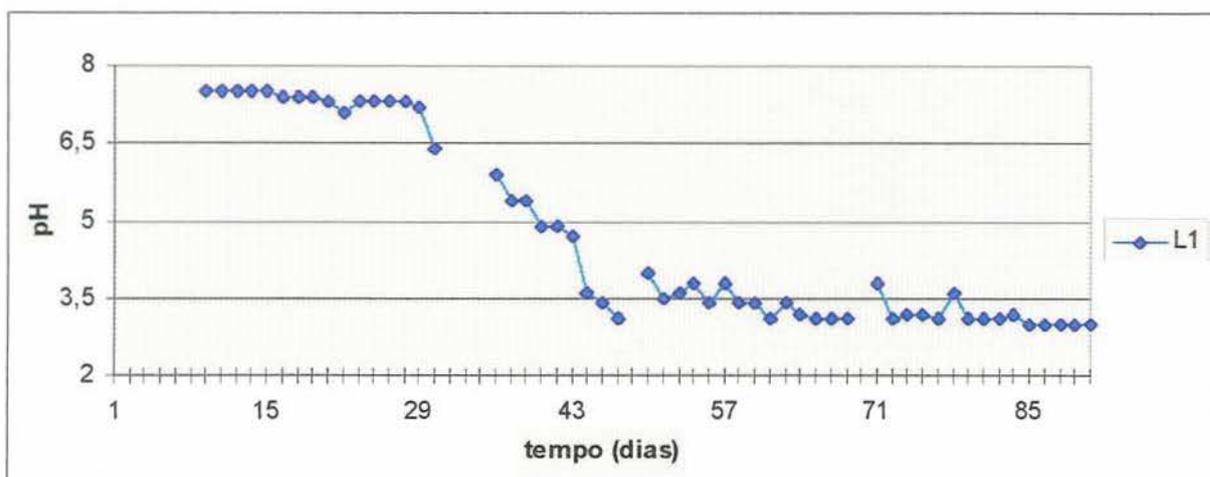


Figura D.13- Comportamento do pH do percolado no L1 ("wet blue") - Fase 1

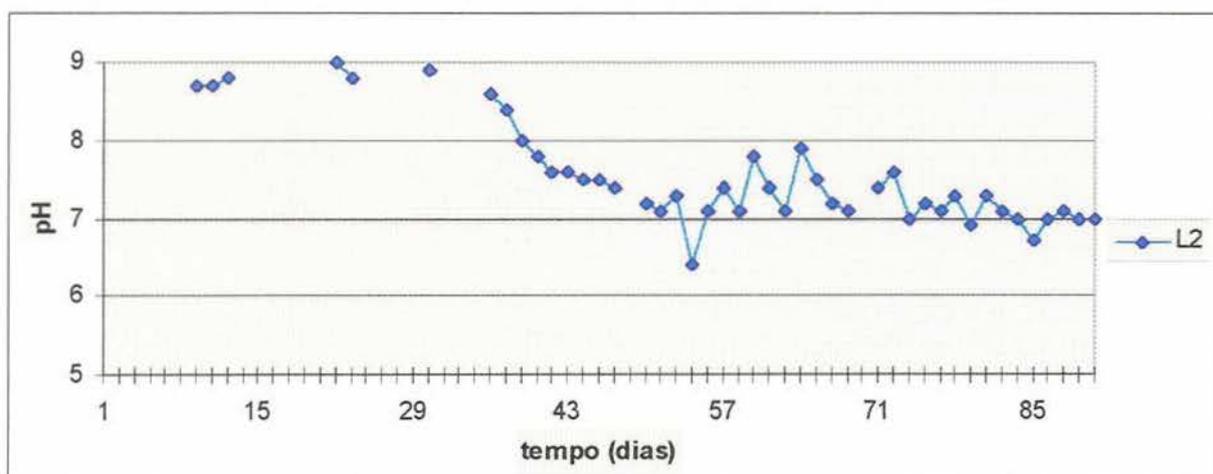


Figura D.14- Comportamento do pH do percolado no L2 (preto semi) - Fase 1

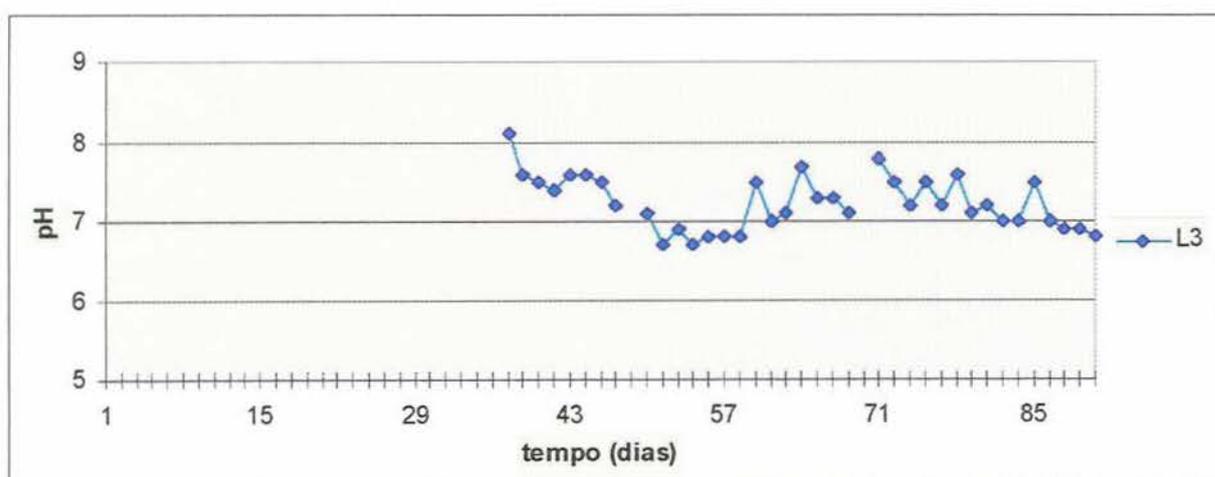


Figura D.15- Comportamento do pH do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 1

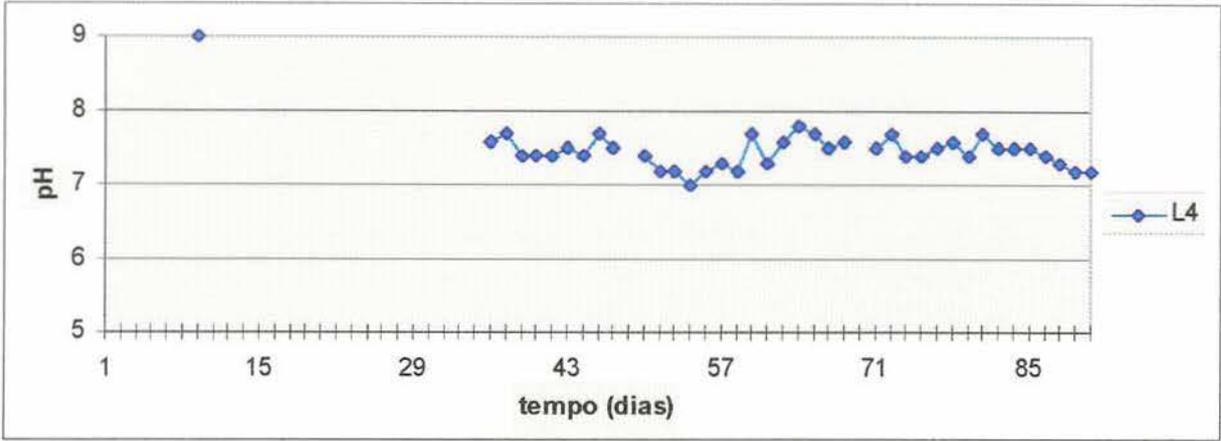


Figura D.16- Comportamento do pH do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 1

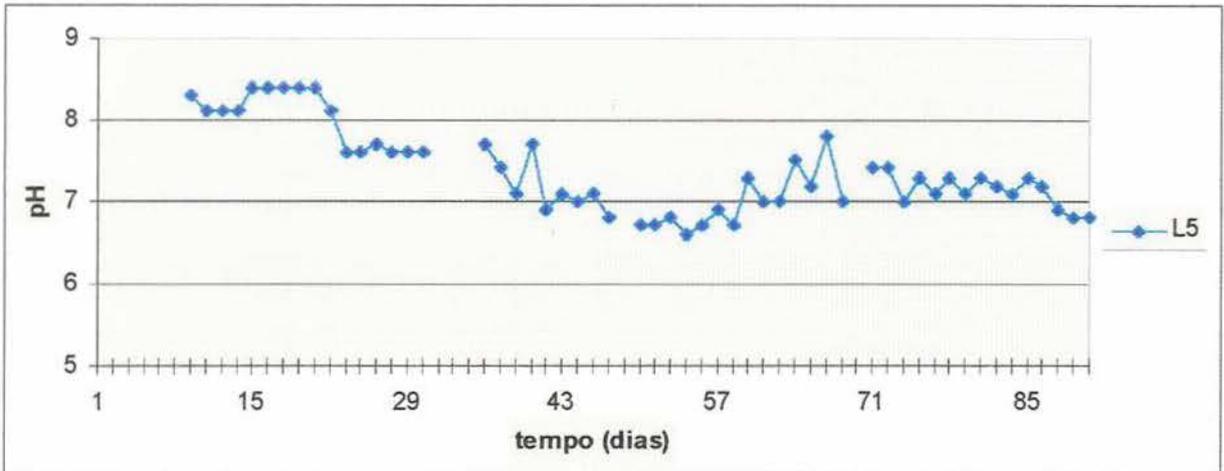


Figura D.17- Comportamento do pH do percolado no L5 (marrom acab.) - Fase 1

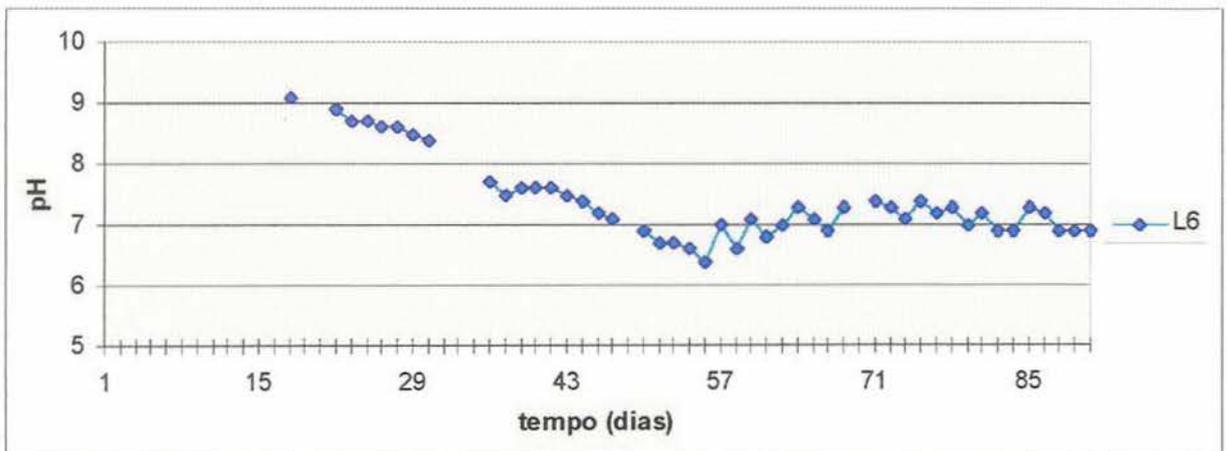


Figura D.18- Comportamento do pH do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 1

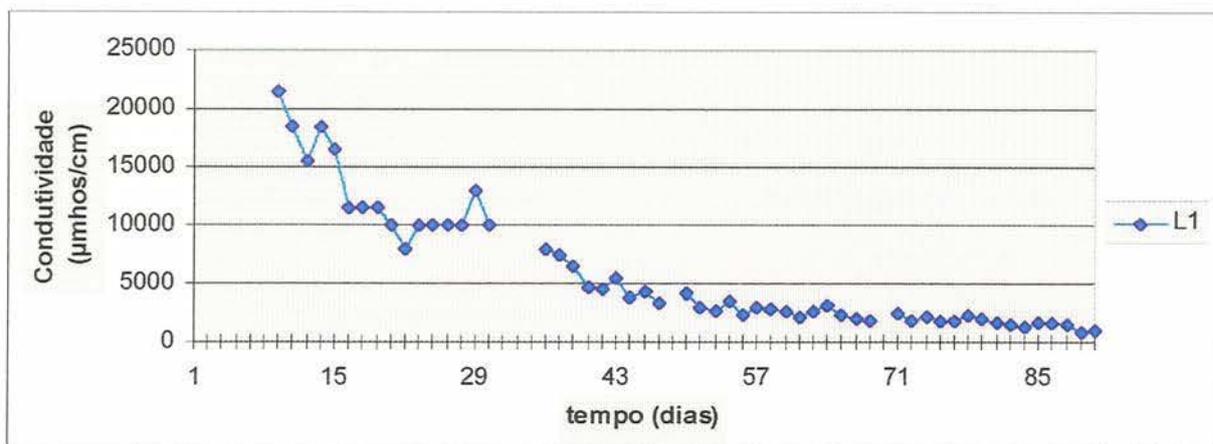


Figura D.19- Comportamento da condutividade do percolado no L1 ("wet blue") - Fase 1

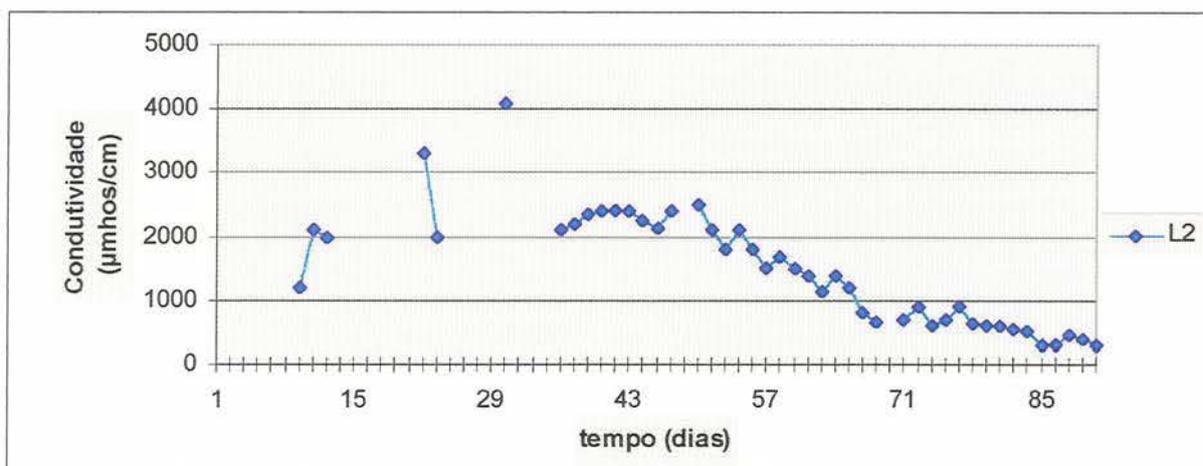


Figura D.20- Comportamento da condutividade do percolado no L2 (preto semi) - Fase 1

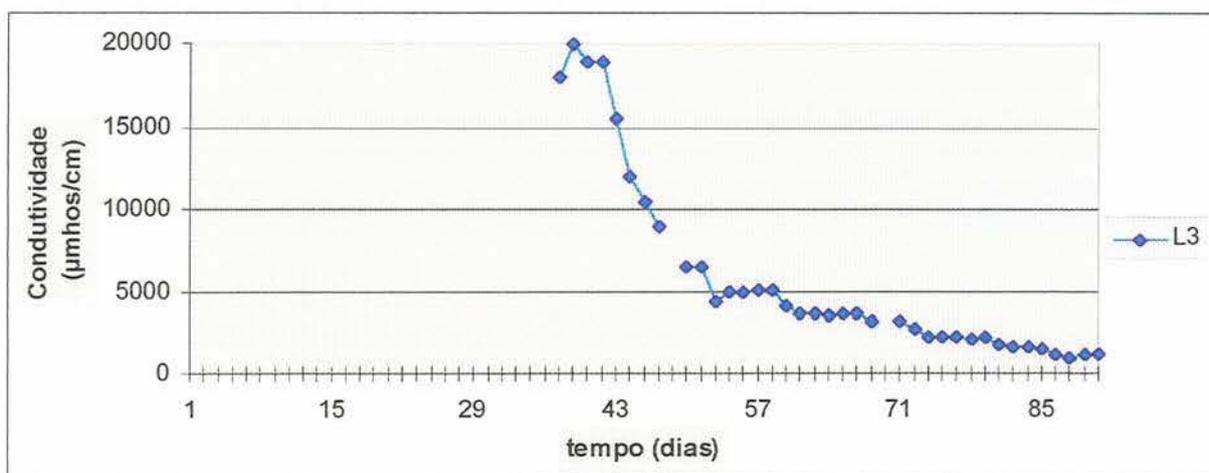


Figura D.21- Comportamento da condutividade do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 1

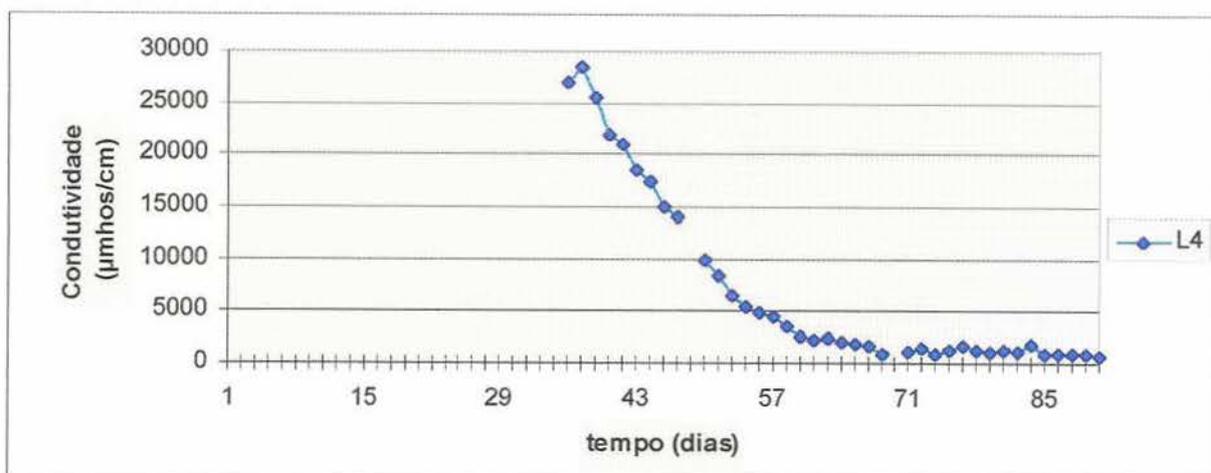


Figura D.22- Comportamento da condutividade do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 1

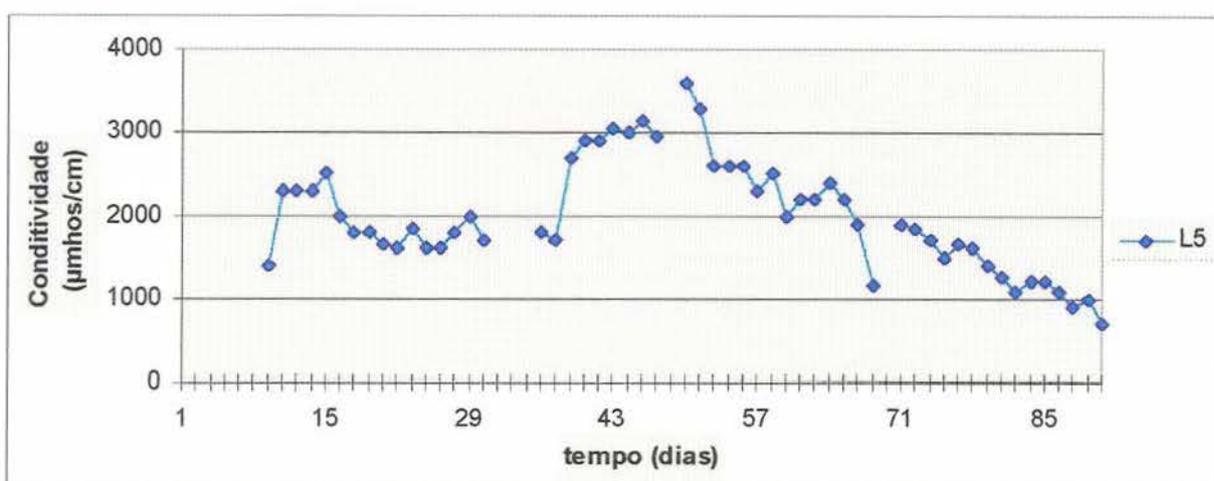


Figura D.23- Comportamento da condutividade do percolado no L5 (marrom acab.) - Fase 1

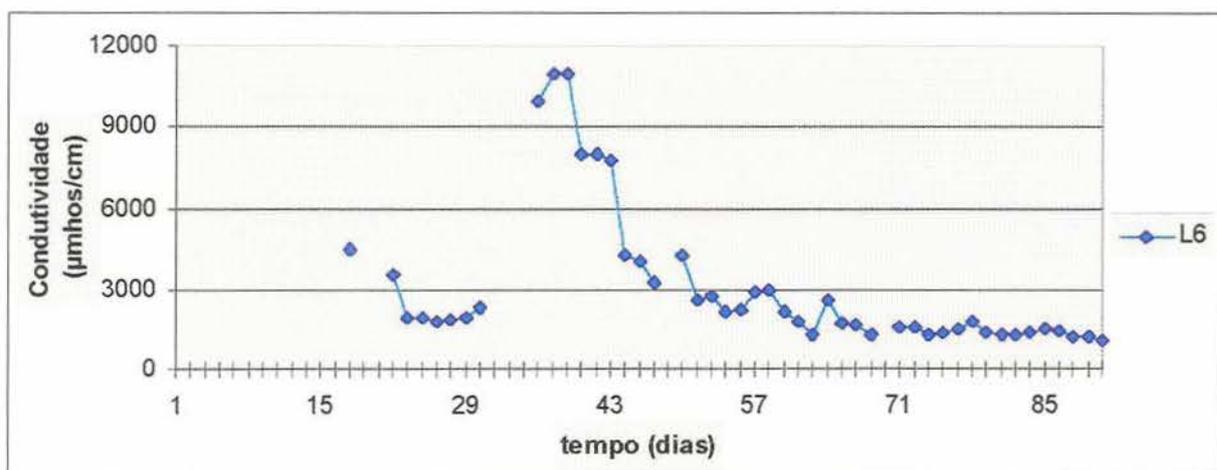


Figura D.24-Comportamento da condutividade do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 1

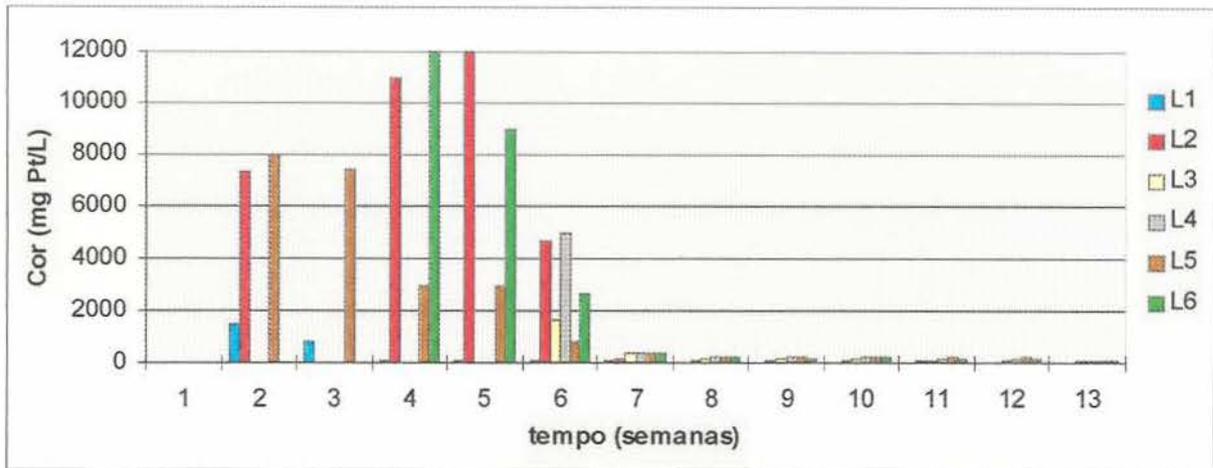


Figura D.25- Variação da cor aparente nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1

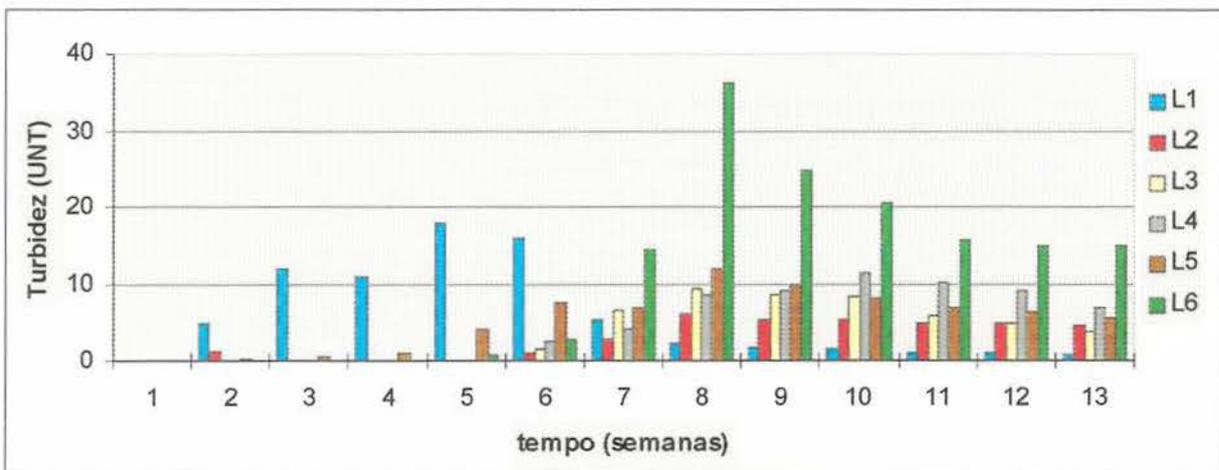


Figura D.26- Variação da turbidez nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1

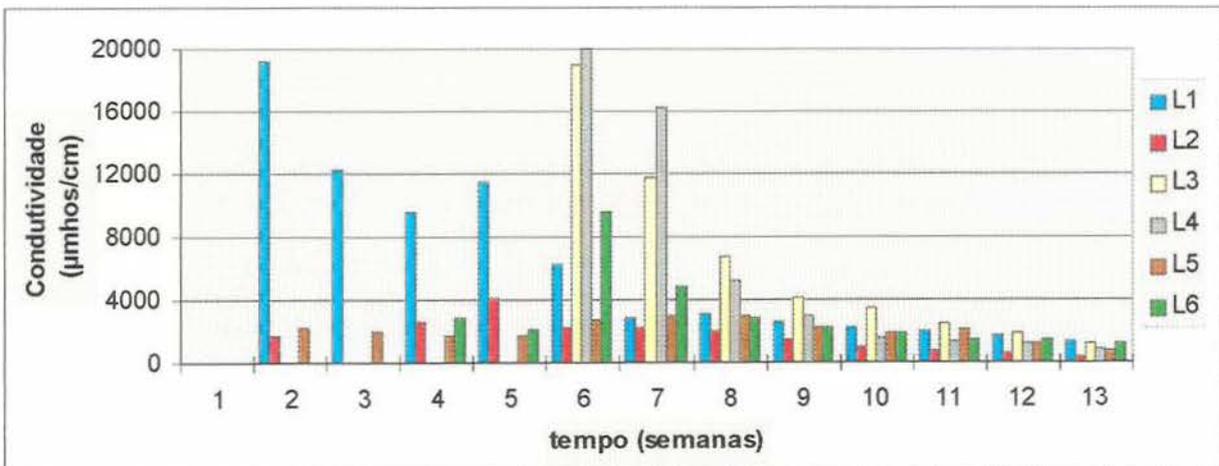


Figura D.27- Variação da condutividade nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1

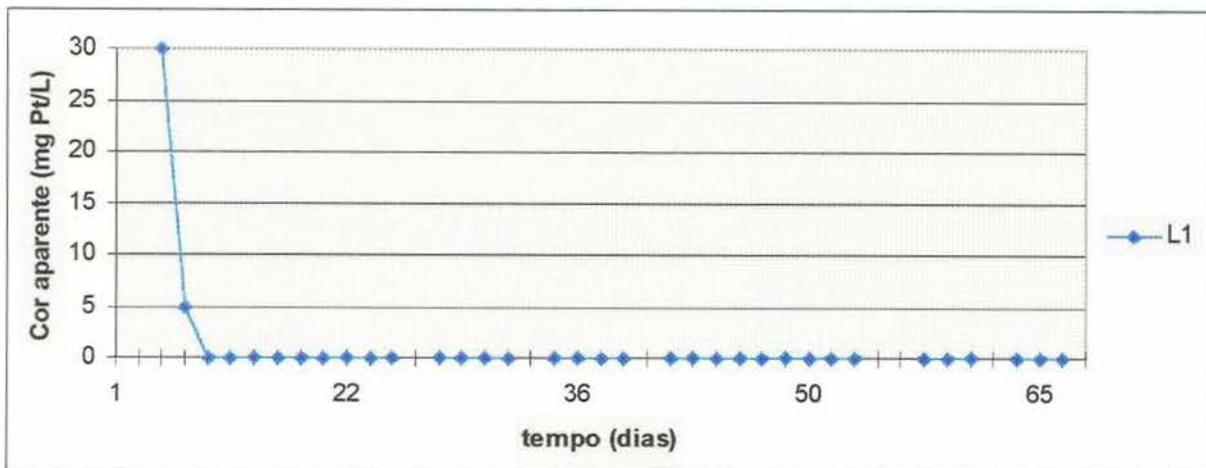


Figura D.28- Comportamento da cor aparente do percolado no L1 ("wet blue") - Fase 2

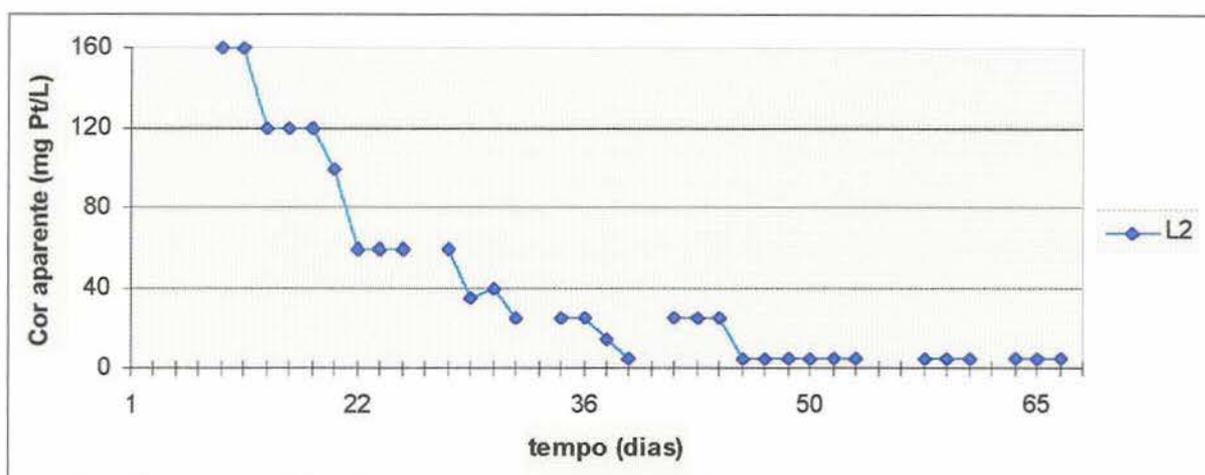


Figura D.29- Comportamento da cor aparente do percolado no L2 (preto semi) - Fase 2

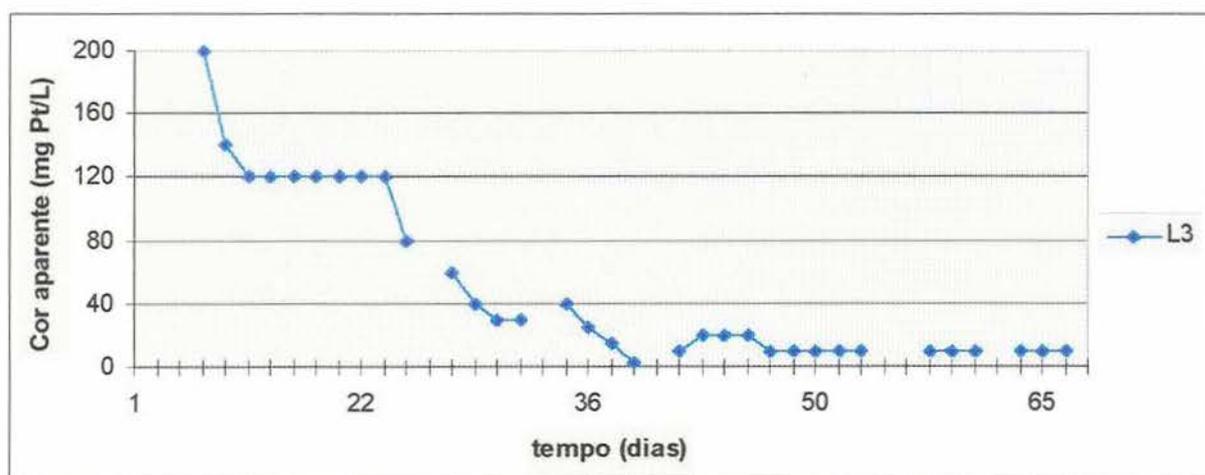


Figura D.30- Comportamento da cor aparente do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 2

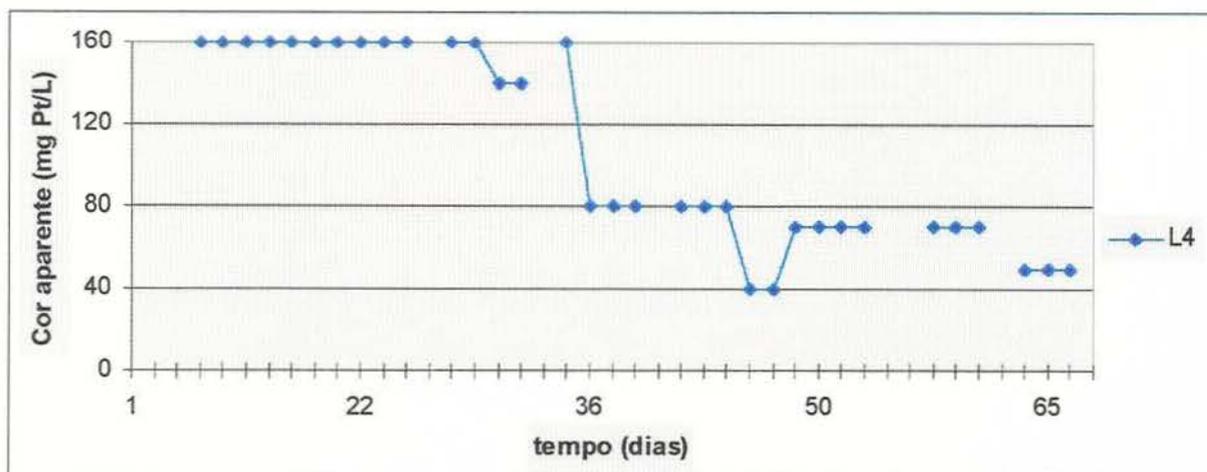


Figura D.31- Comportamento da cor aparente do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 2

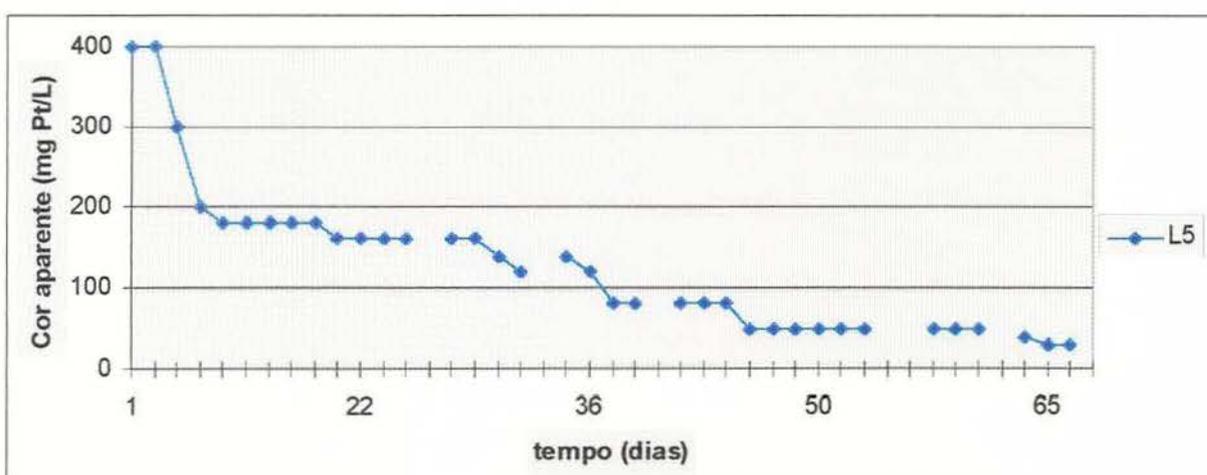


Figura D.32- Comportamento da cor aparente do percolado no L5 (marrom acab.) - Fase 2

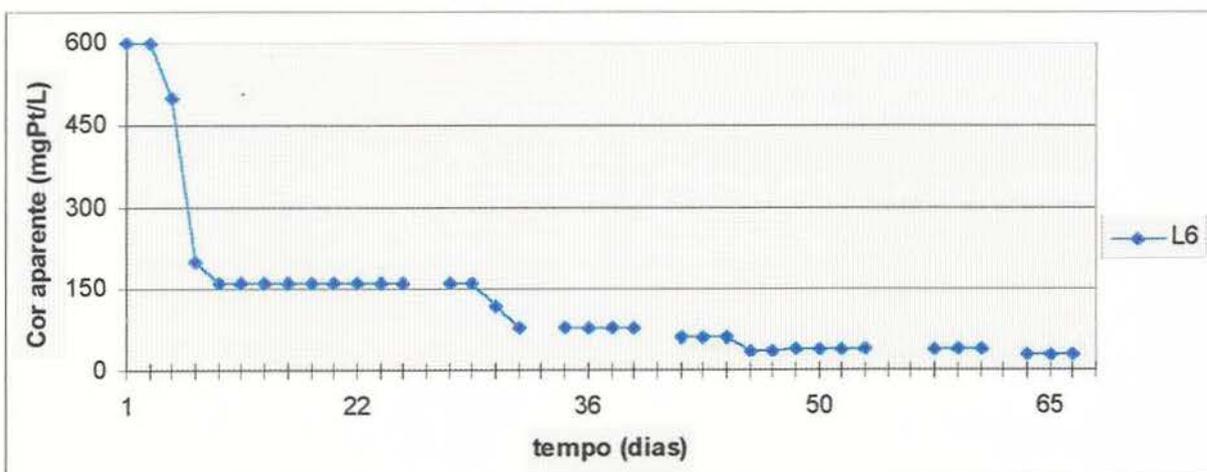


Figura D.33- Comportamento da cor aparente do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 2

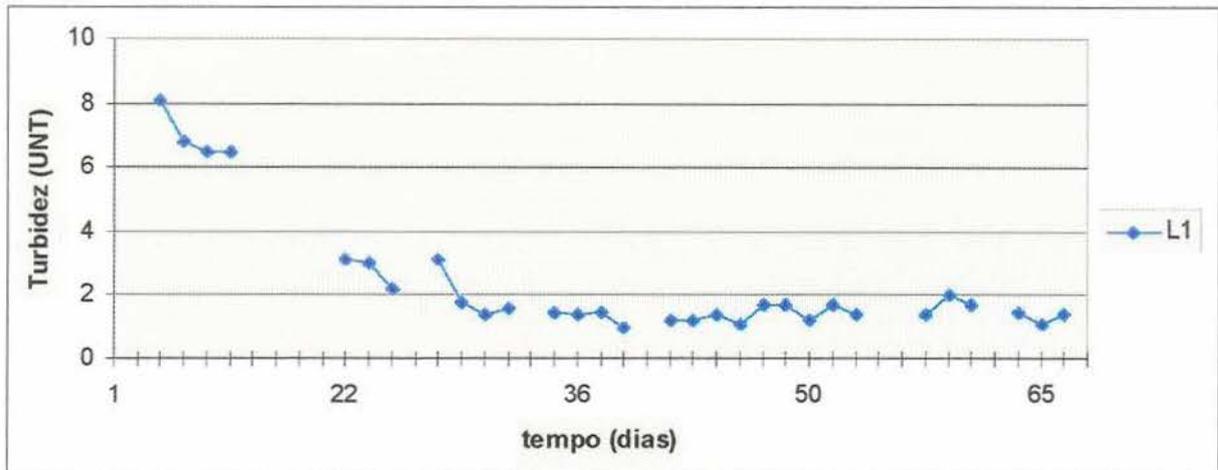


Figura D.34- Comportamento da turbidez do percolado no L1 ("wet blue") - Fase 2

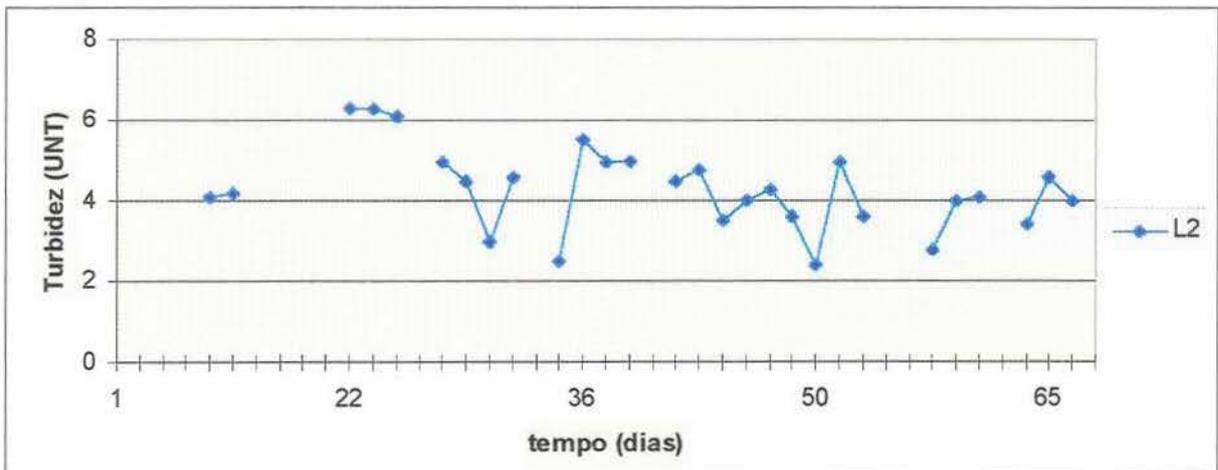


Figura D.35- Comportamento da turbidez do percolado no L2 (preto semi) - Fase 2

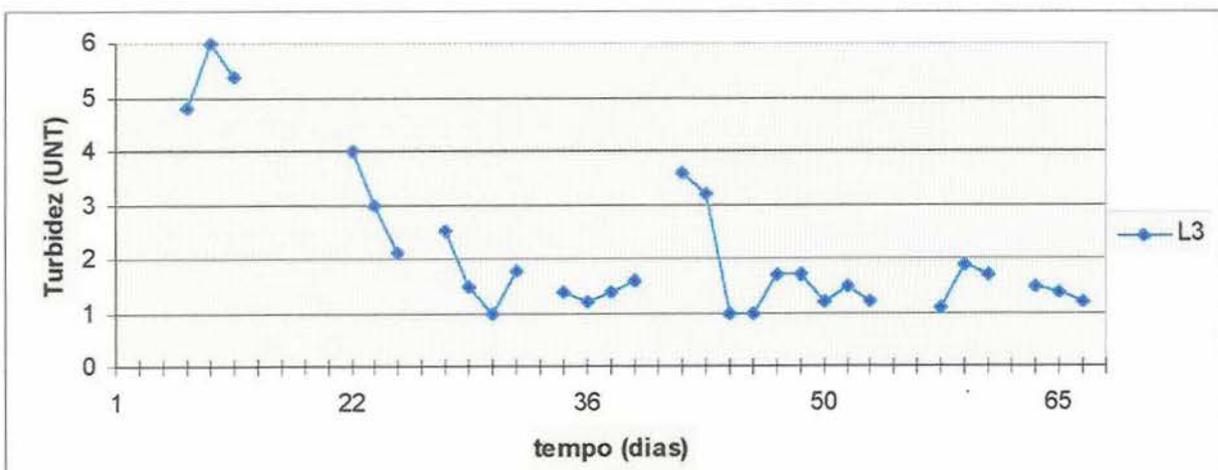


Figura D.36- Comportamento da turbidez do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 2

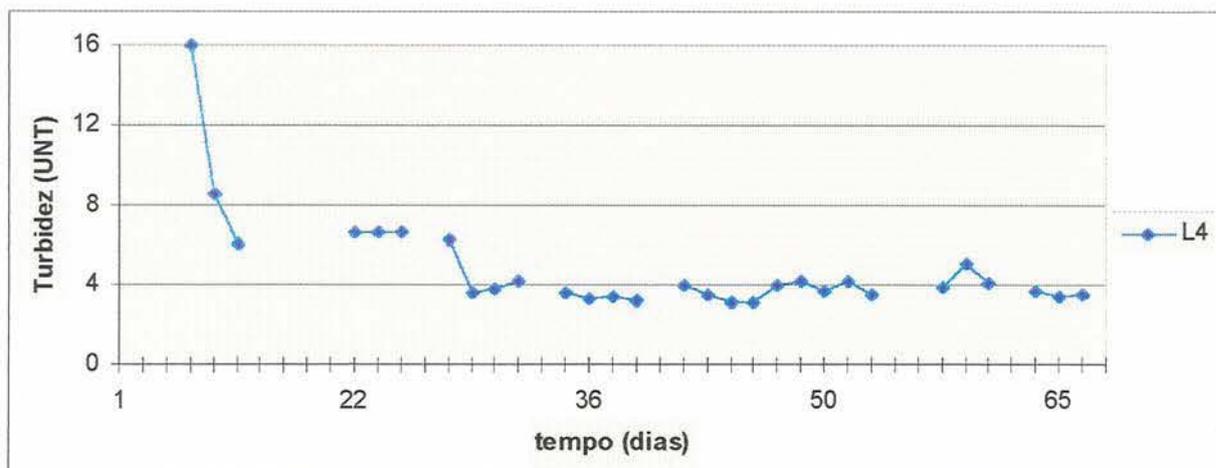


Figura D.37- Comportamento da turbidez do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 2

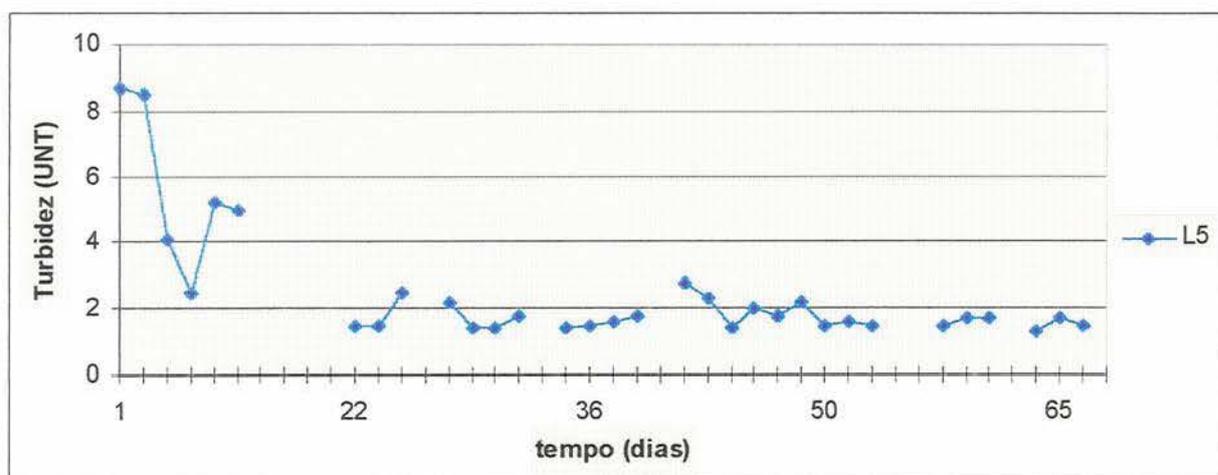


Figura D.38- Comportamento da turbidez do percolado no L5 (marrom acab.) - Fase 2

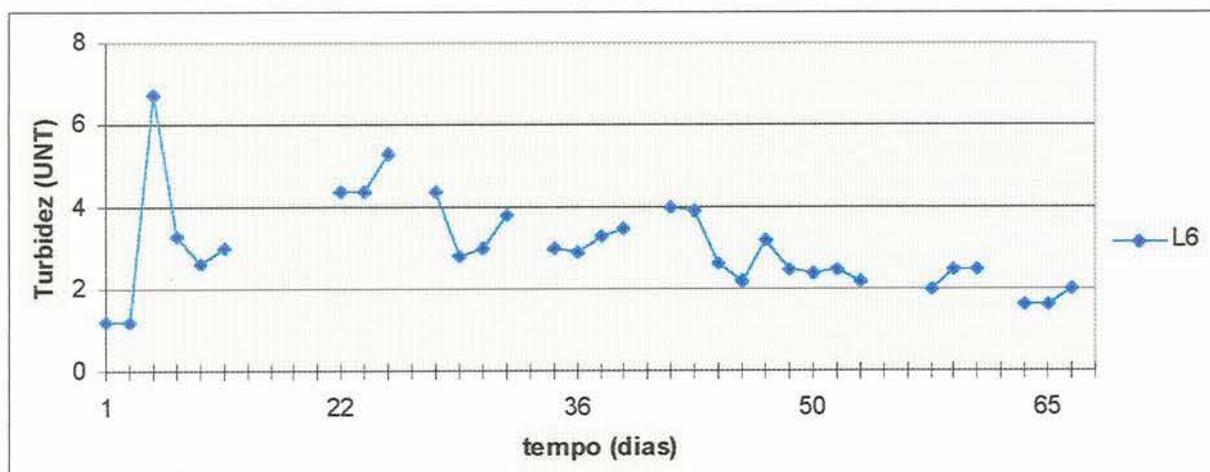


Figura D.39-Comportamento da turbidez do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 2

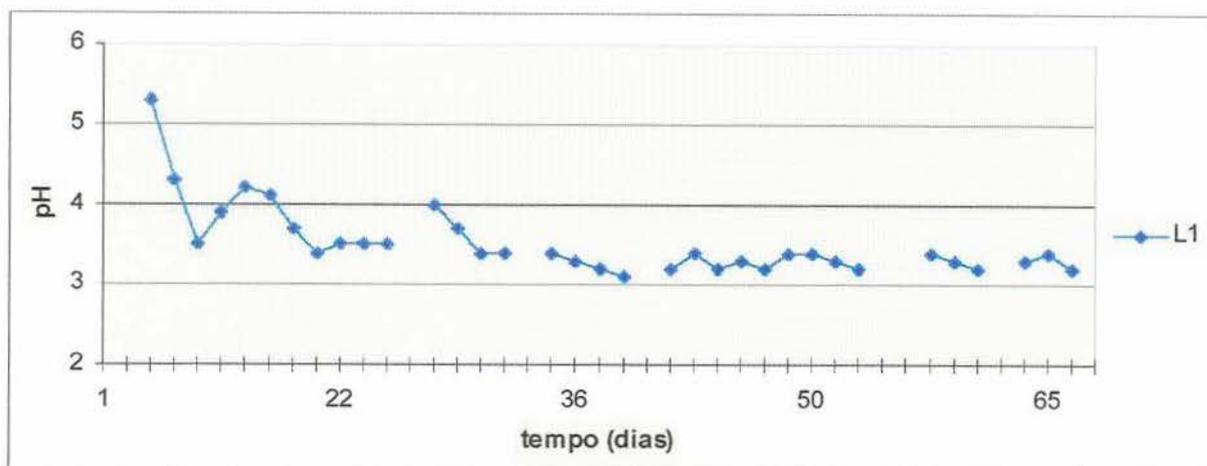


Figura D.40- Comportamento do pH do percolado no L1 ("wet blue") - Fase 2

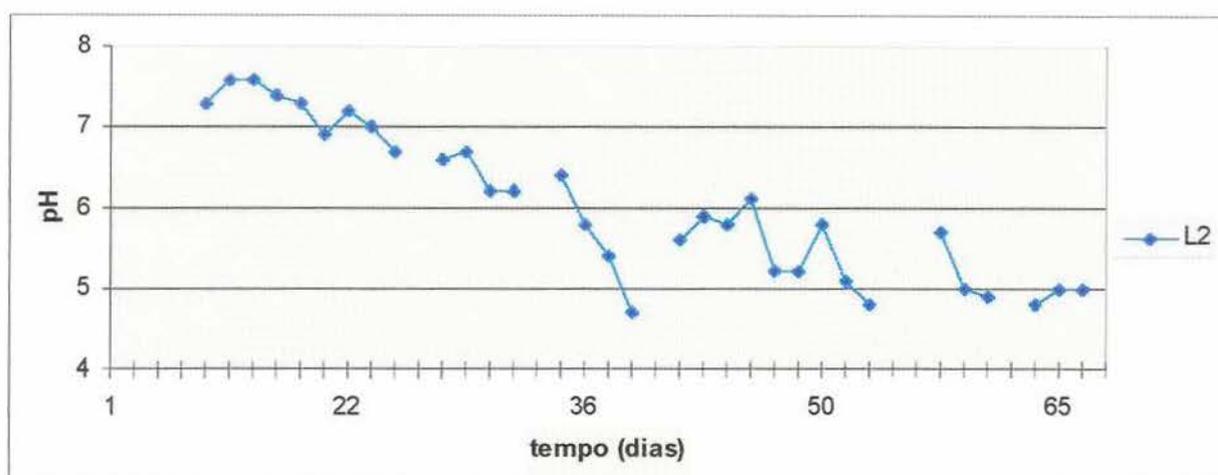


Figura D.41- Comportamento do pH do percolado no L2 (preto semi) - Fase 2

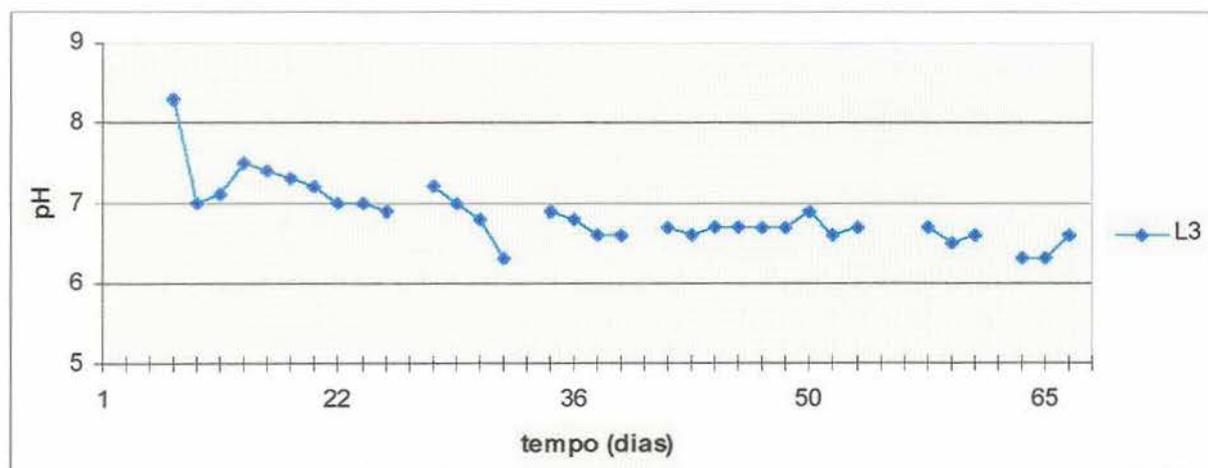


Figura D.42- Comportamento do pH do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 2

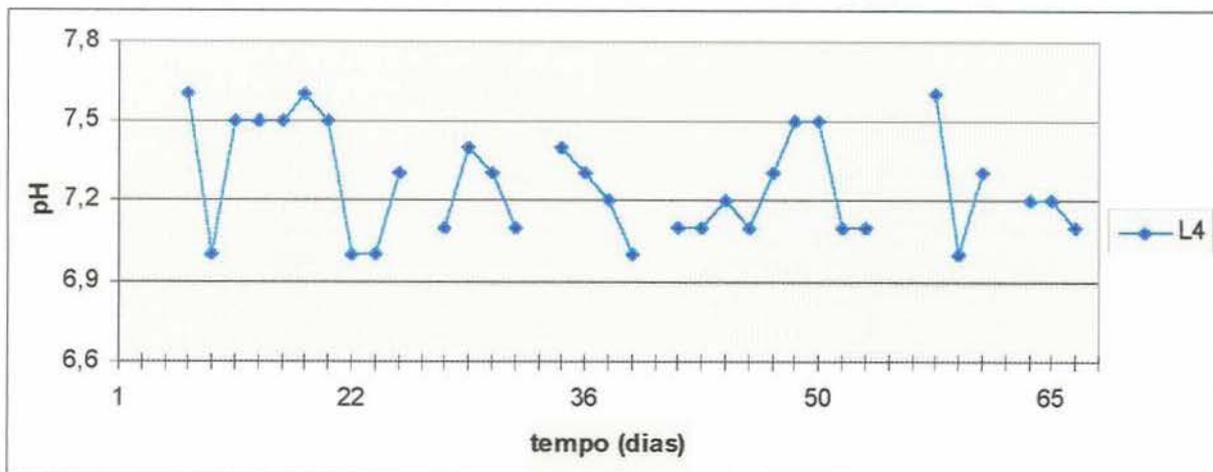


Figura D.43- Comportamento do pH do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 2

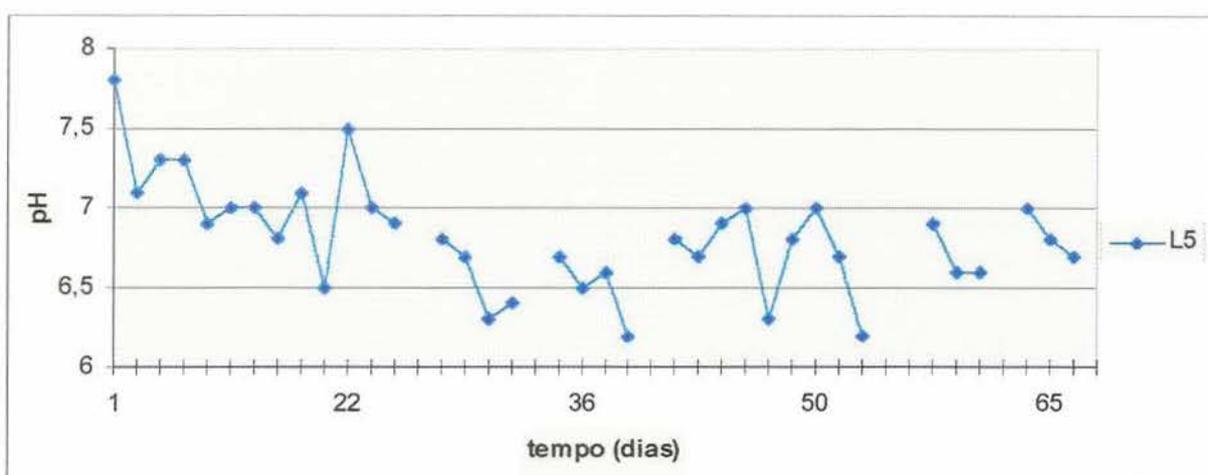


Figura D.44- Comportamento do pH do percolado no L5 (marrom acab.) - Fase 2

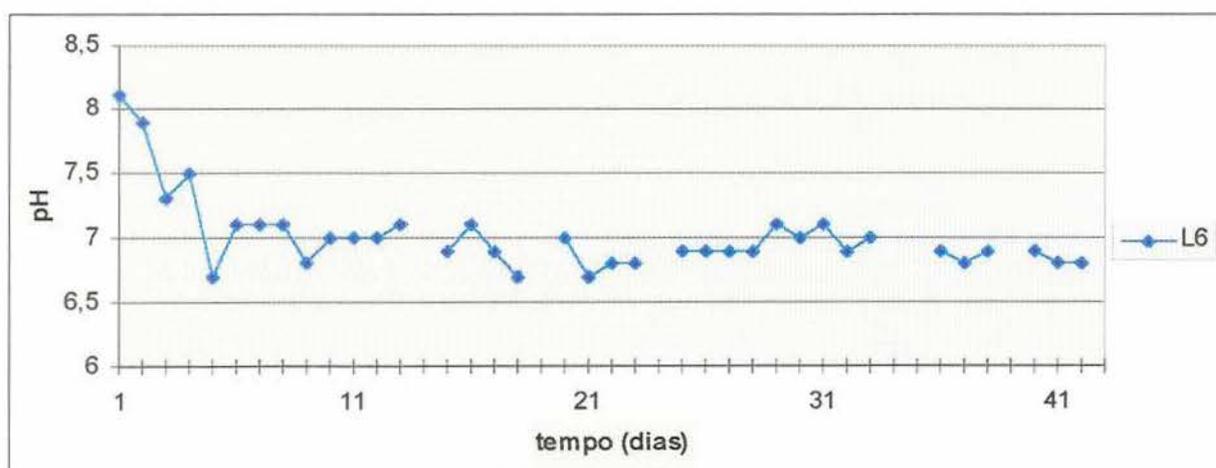


Figura D.45- Comportamento do pH do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 2

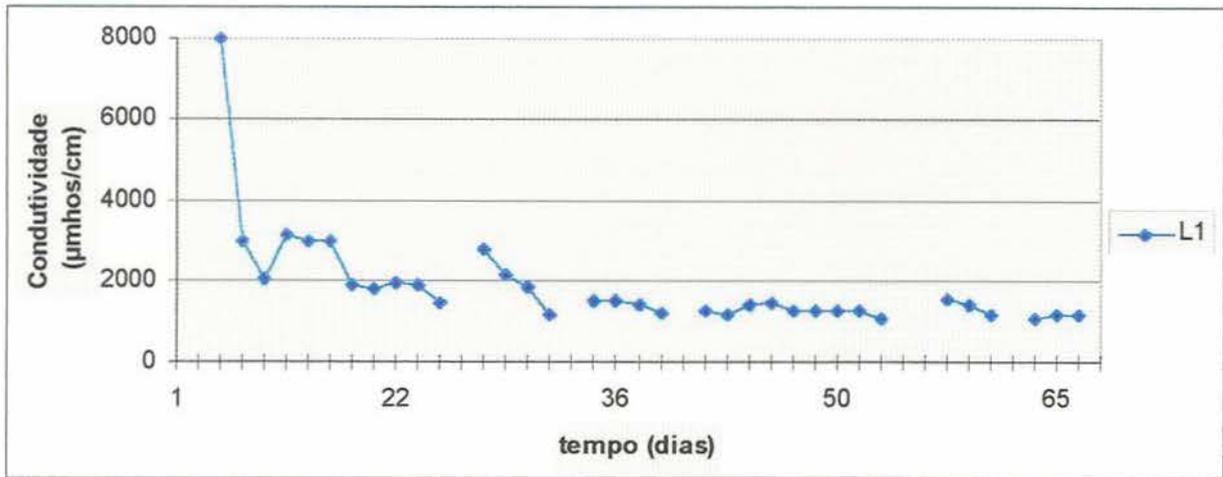


Figura D.46- Comportamento da condutividade do percolado no L1 (“wet blue”) - Fase 2

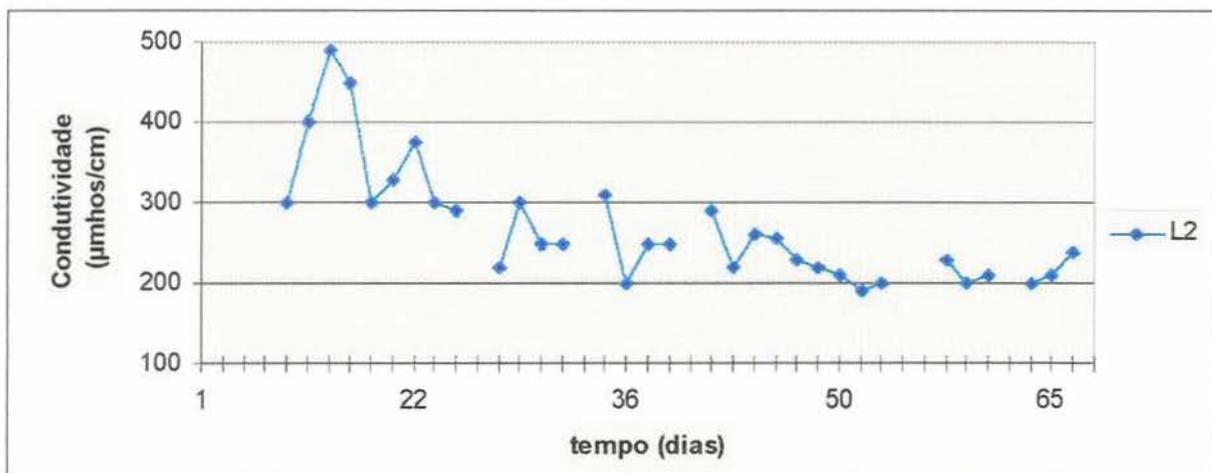


Figura D.47- Comportamento da condutividade do percolado no L2 (preto semi) - Fase 2

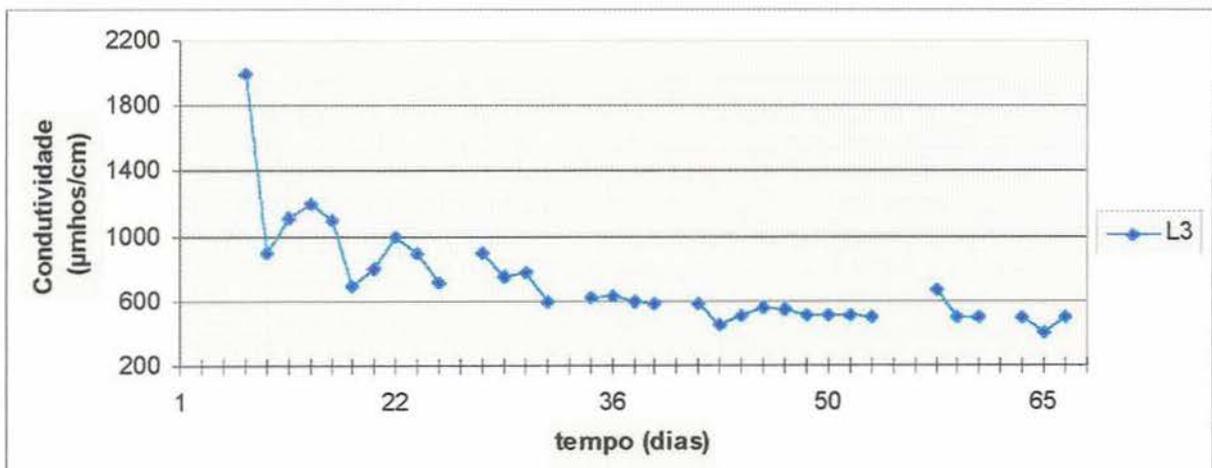


Figura D.48- Comportamento da condutividade do percolado no L3 (preto acab.) - Fase 2

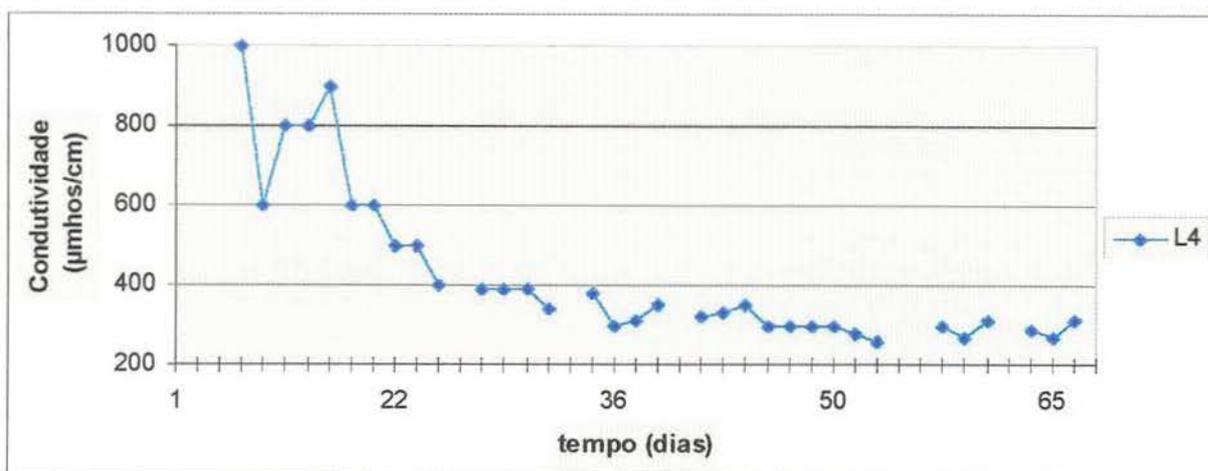


Figura D.49- Comportamento da condutividade do percolado no L4 (marrom semi) - Fase 2

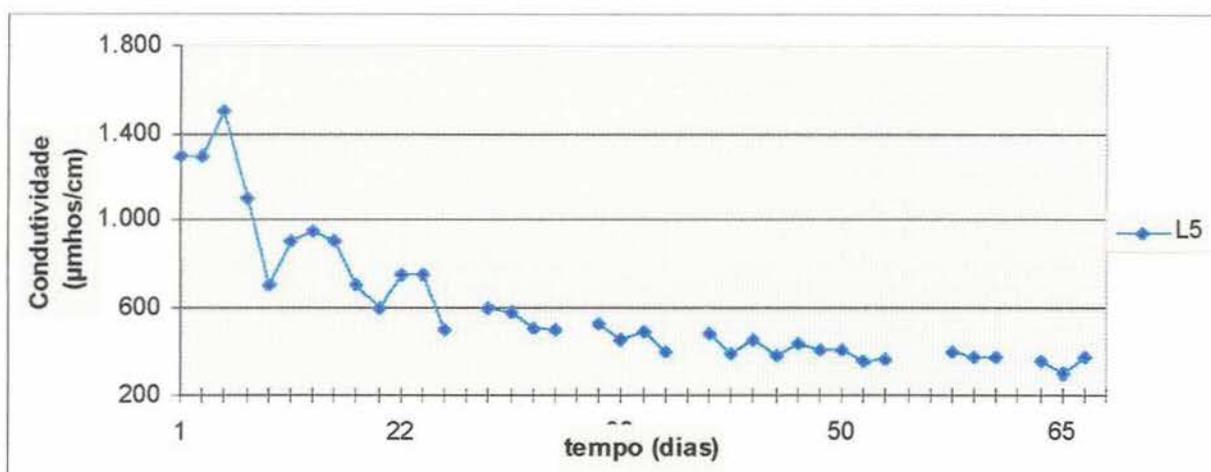


Figura D.50- Comportamento da condutividade do percolado no L5 (marrom acab.) - Fase 2

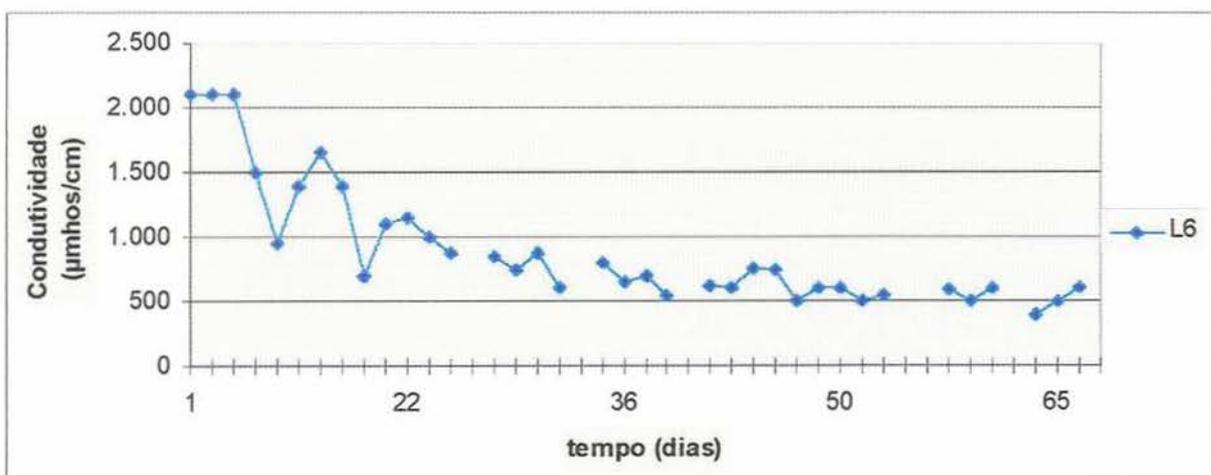


Figura D.51-Comportamento da condutividade do percolado no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 2

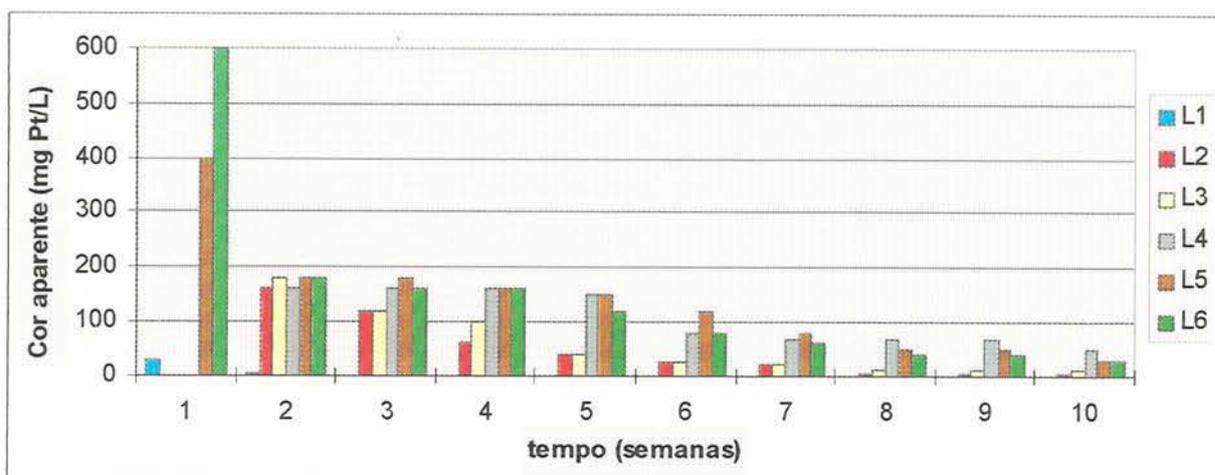


Figura D.52- Variação da cor aparente nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2

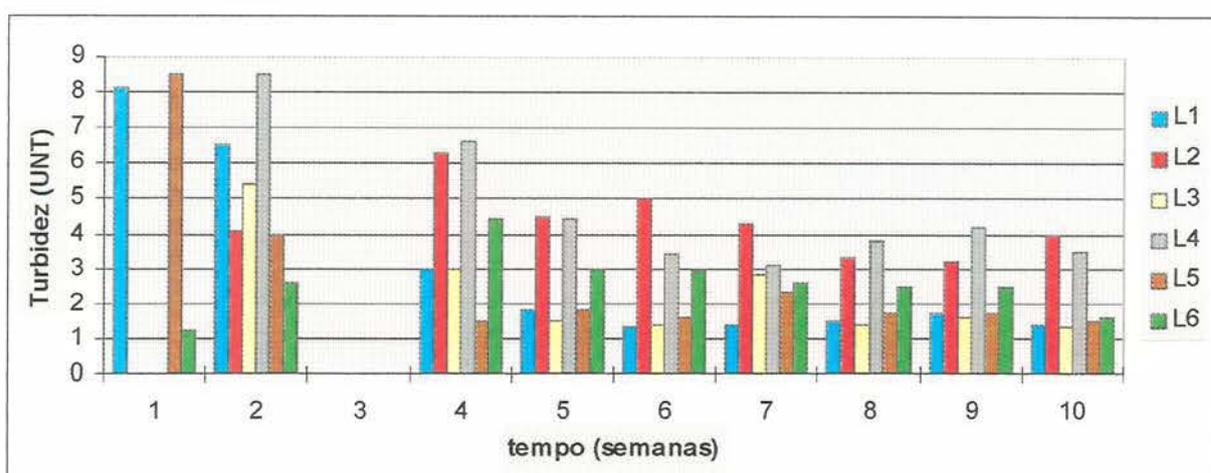


Figura D.53- Variação da turbidez nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2

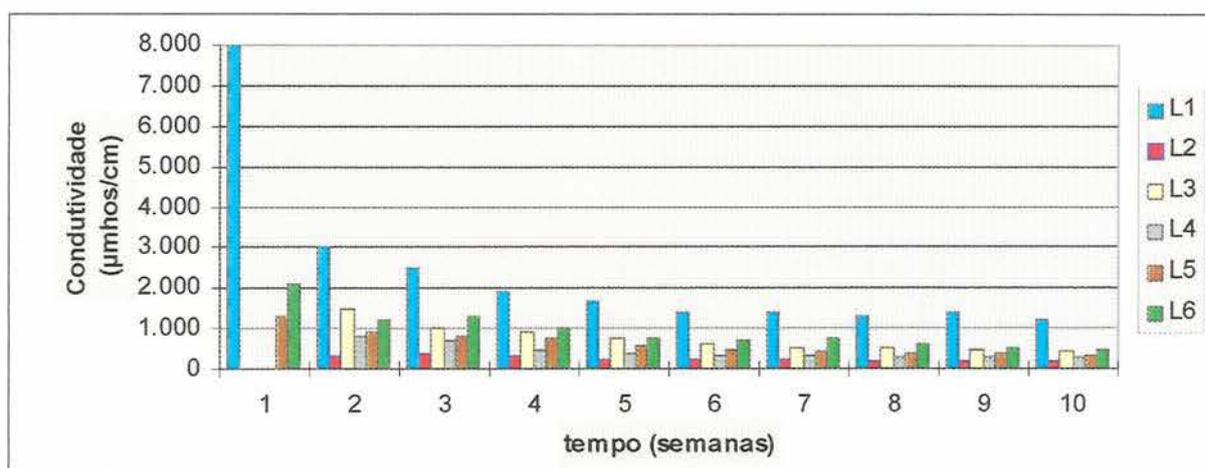


Figura D.54- Variação da condutividade nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2

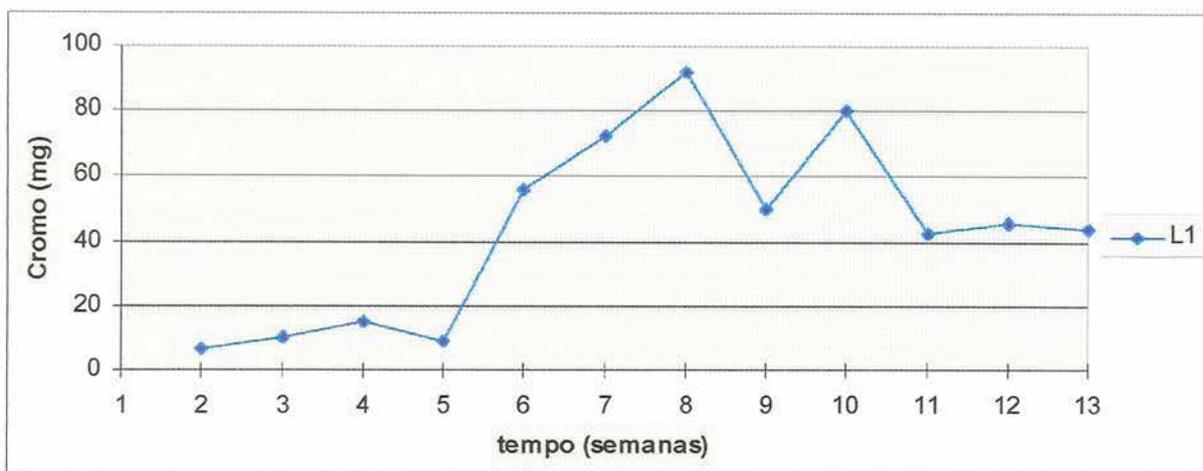


Figura D.55- Carga de cromo (mg) lixiviada no L1 (“wet blue”) - Fase 1

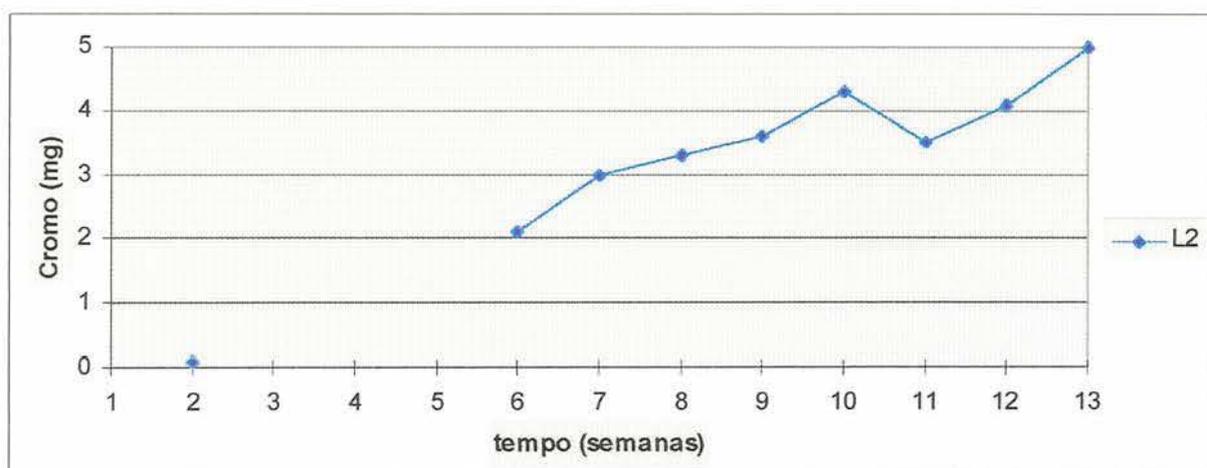


Figura D.56- Carga de cromo (mg) lixiviada no L2 (preto semi) - Fase 1

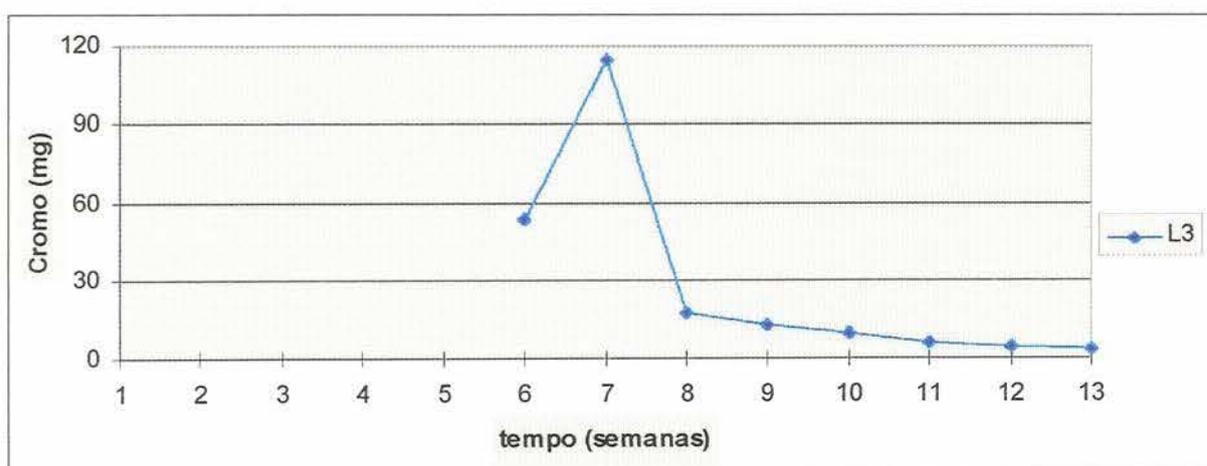


Figura D.57- Carga de cromo (mg) lixiviada no L3 (preto acab.) - Fase 1



Figura D.58- Carga de cromo (mg) lixiviada no L4 (marrom semi) - Fase 1

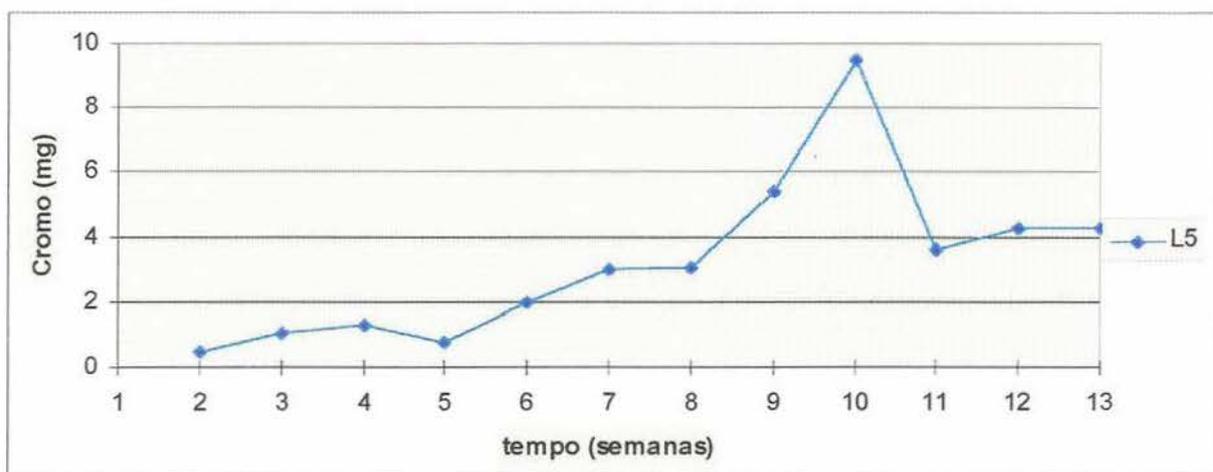


Figura D.59- Carga de cromo (mg) lixiviada no L5 (marrom acab.) - Fase 1

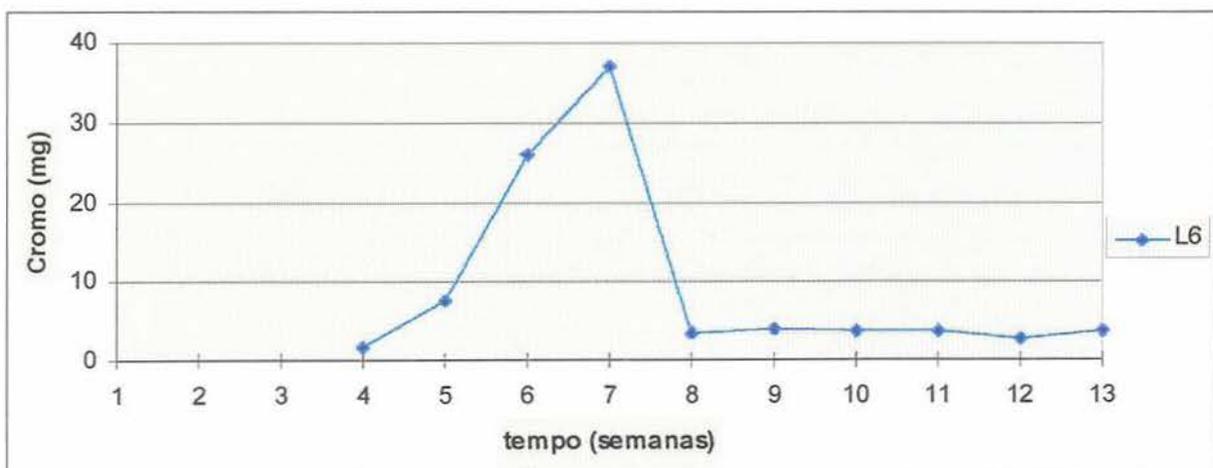


Figura D.60- Carga de cromo (mg) lixiviada no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 1

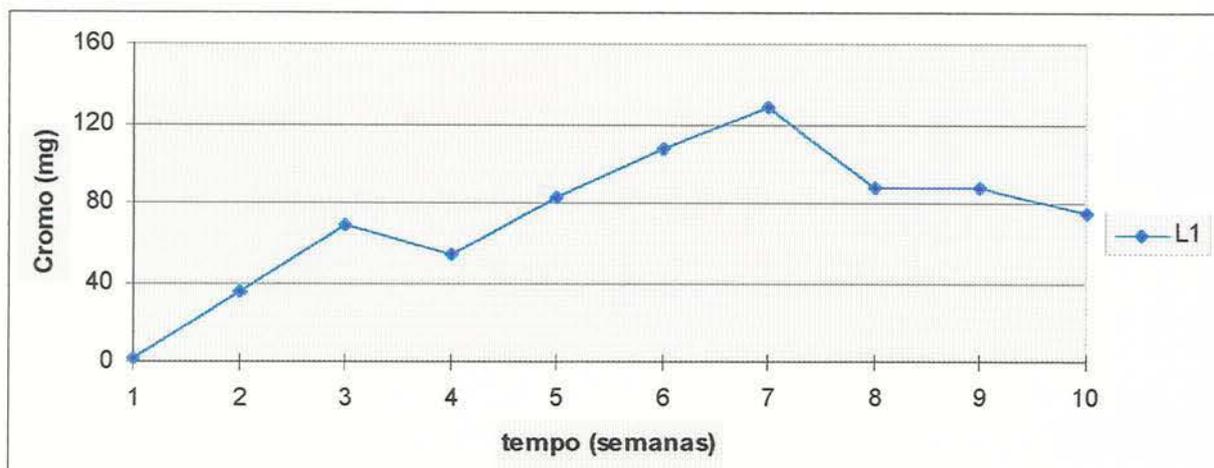


Figura D.61- Carga de cromo (mg) lixiviada no L1 ("wet blue") - Fase 2

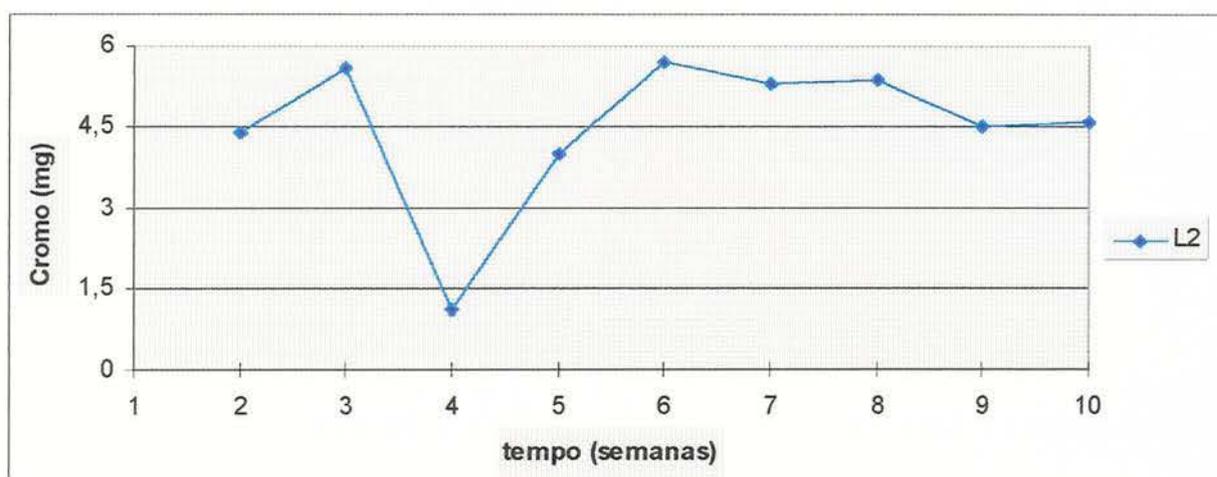


Figura D.62- Carga de cromo (mg) lixiviada no L2 (preto semi) - Fase 2

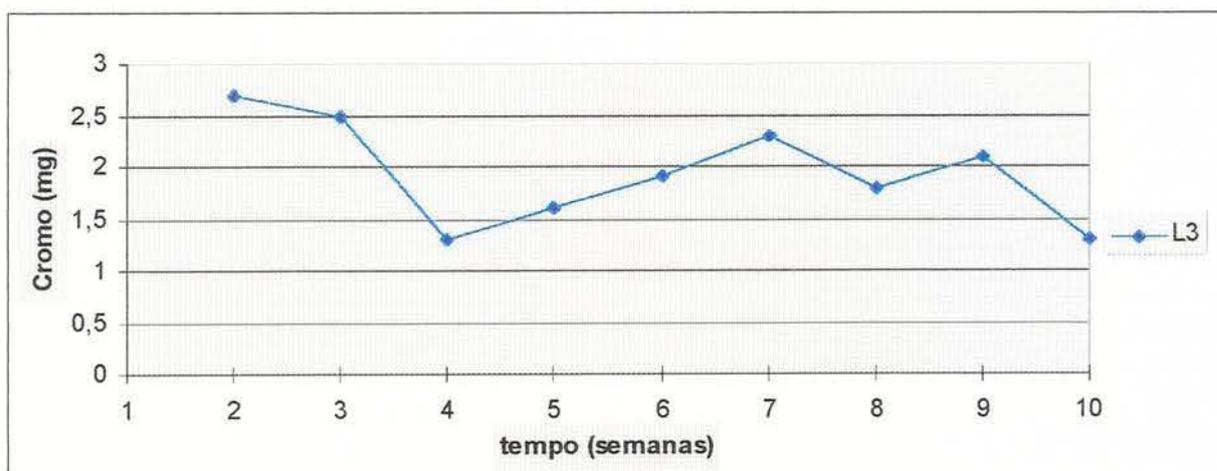


Figura D.63- Carga de cromo (mg) lixiviada no L3 (preto acab.) - Fase 2

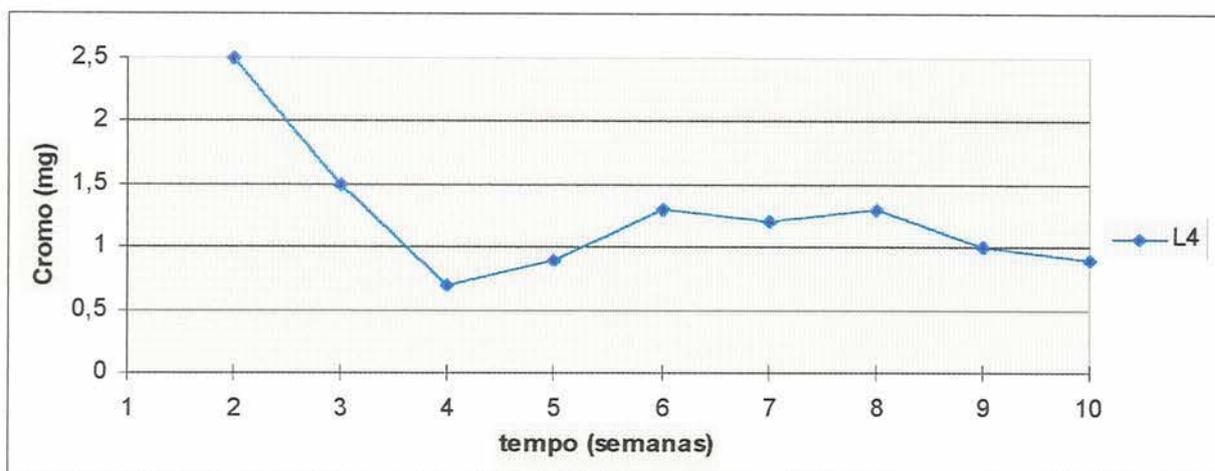


Figura D.64- Carga de cromo (mg) lixiviada no L4 (marrom semi) - Fase 2

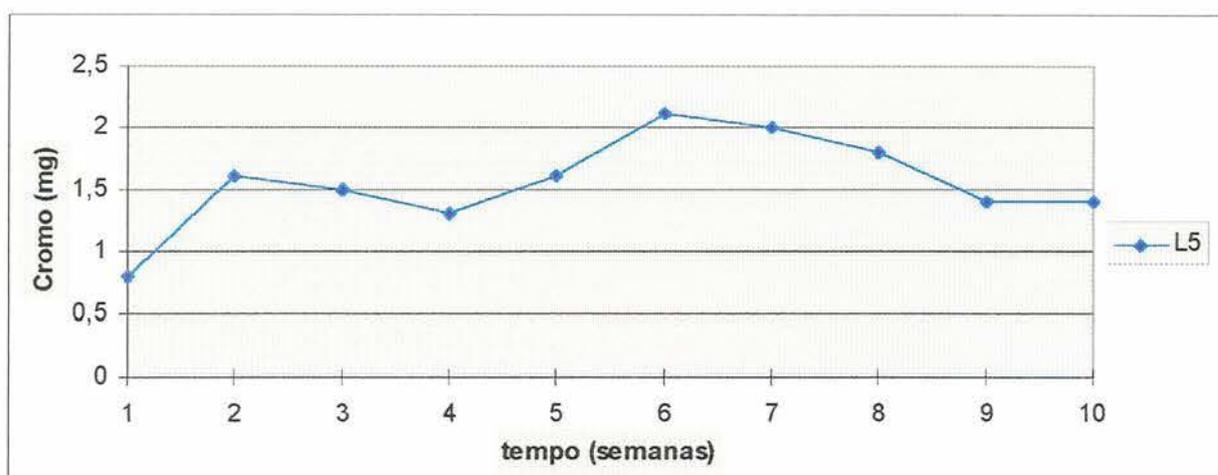


Figura D.65- Carga de cromo (mg) lixiviada no L5 (marrom acab.) - Fase 2

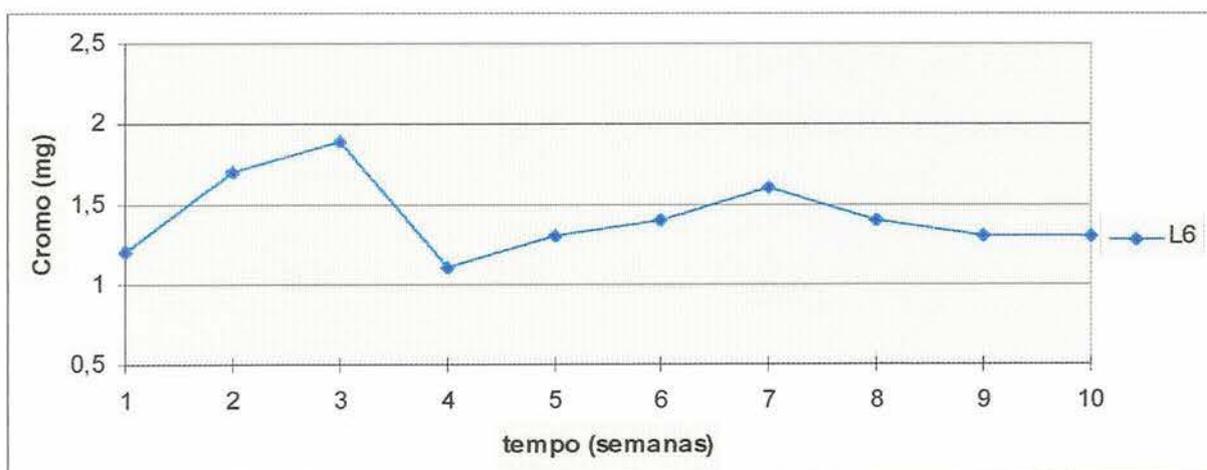


Figura D.66- Carga de cromo (mg) lixiviada no L6 (verde acab. e branco semi) - Fase 2

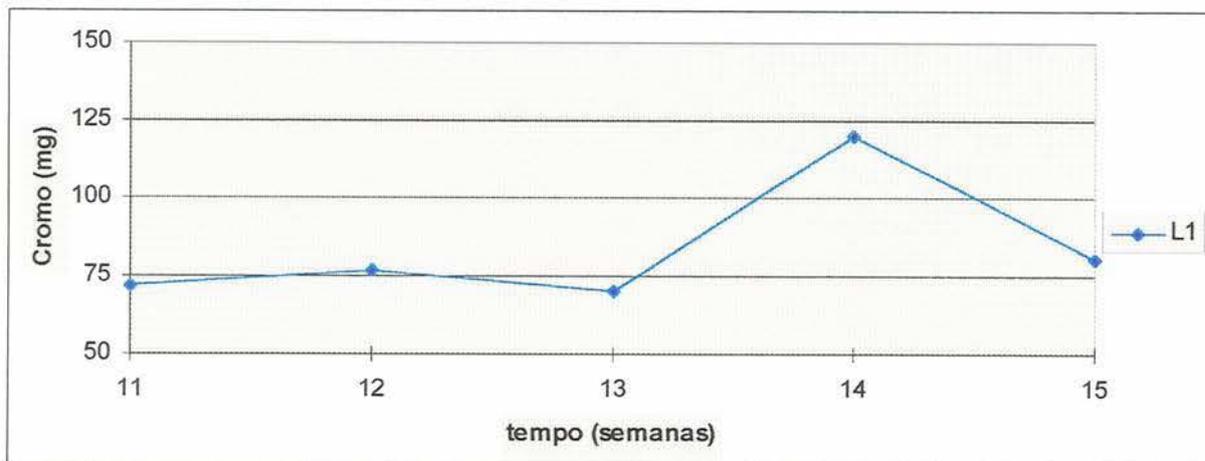


Figura D.67- Carga de cromo (mg) lixiviada no L1 ("wet blue") - Fase 3

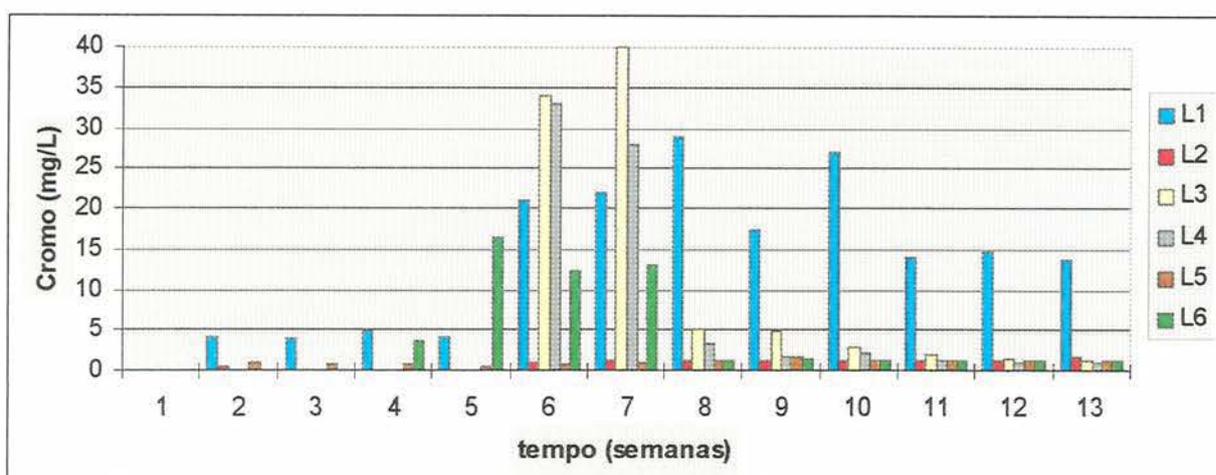


Figura D.68-Varição da concentração de cromo (mg/L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1

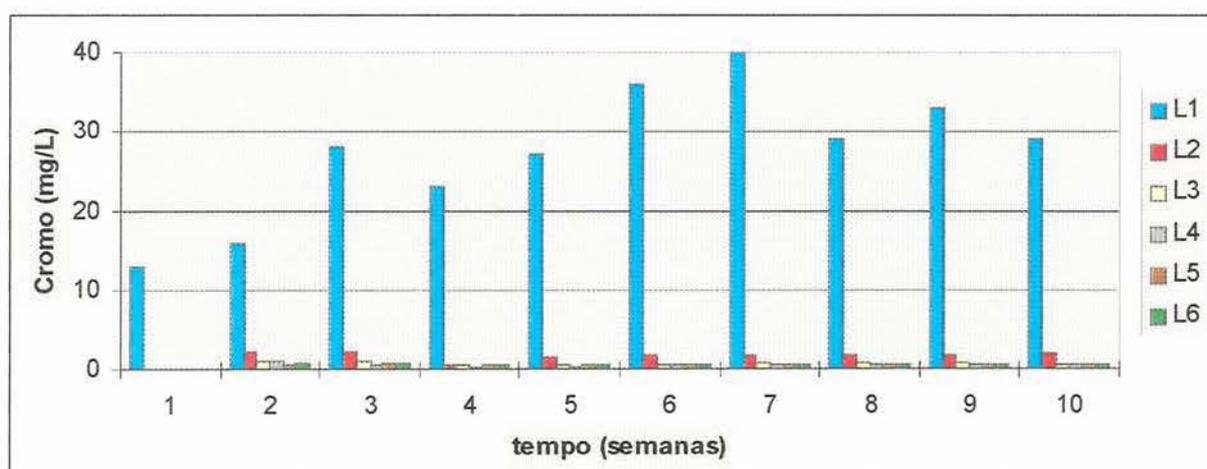


Figura D.69-Varição da concentração de cromo (mg/L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2

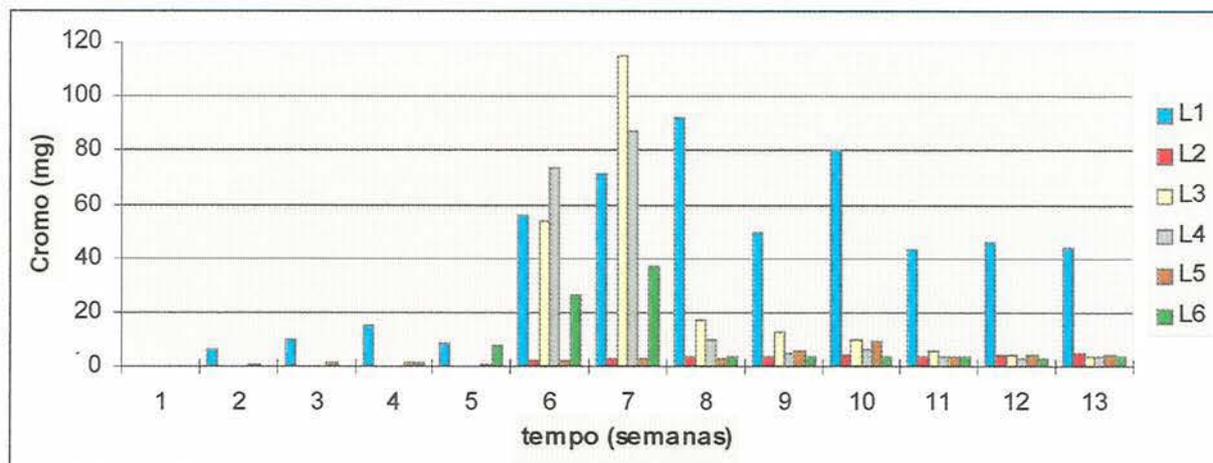


Figura D.70-Variação da carga de cromo(mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1

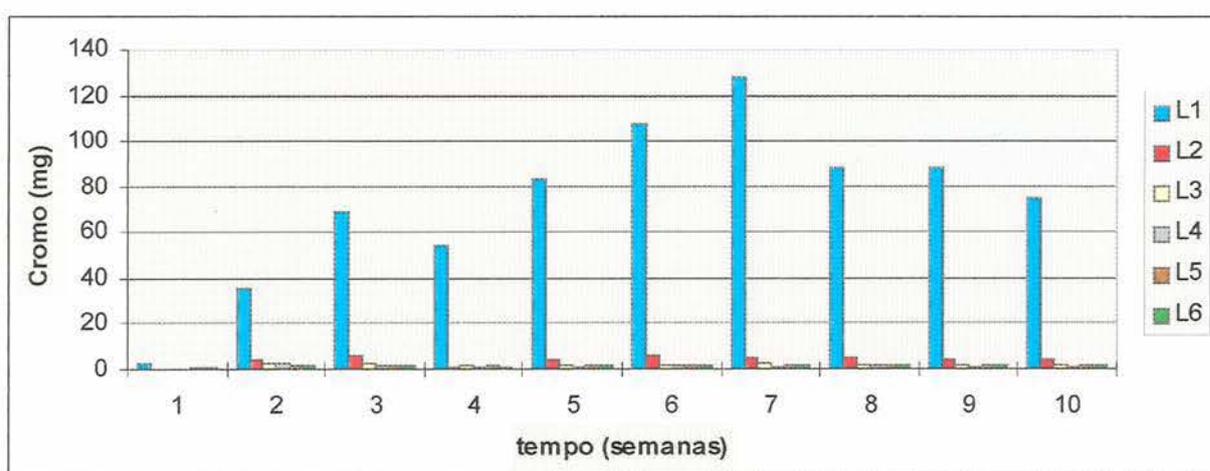


Figura D.71-Variação da carga de cromo (mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 2

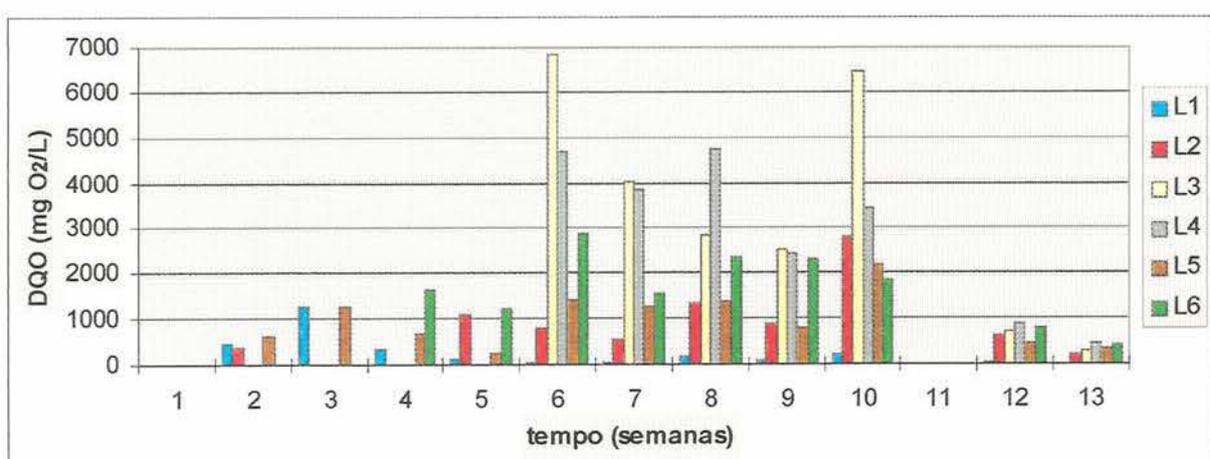


Figura D.72-Variação da concentração de DQO total (mg O₂/L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1

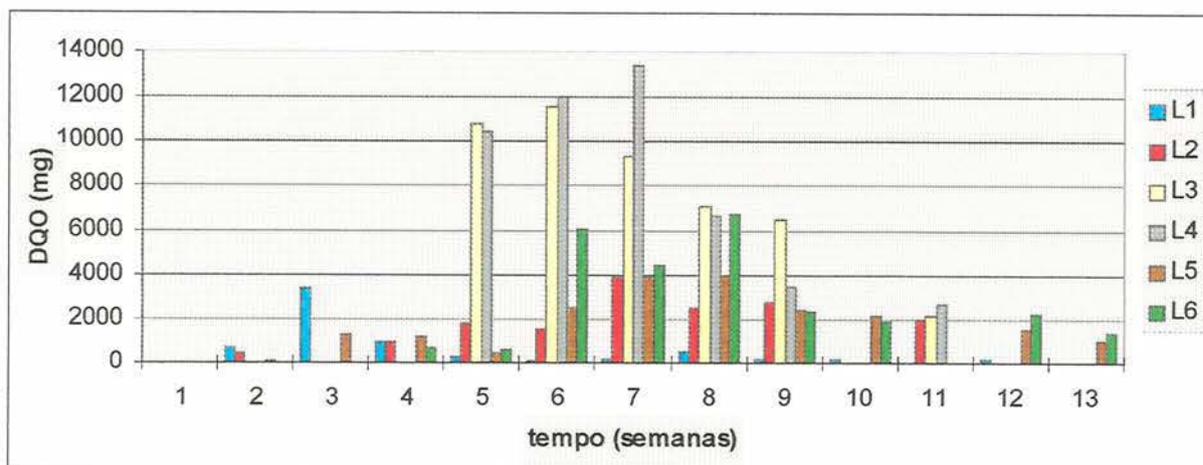


Figura D.73-Variação da carga de DQO total (mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1

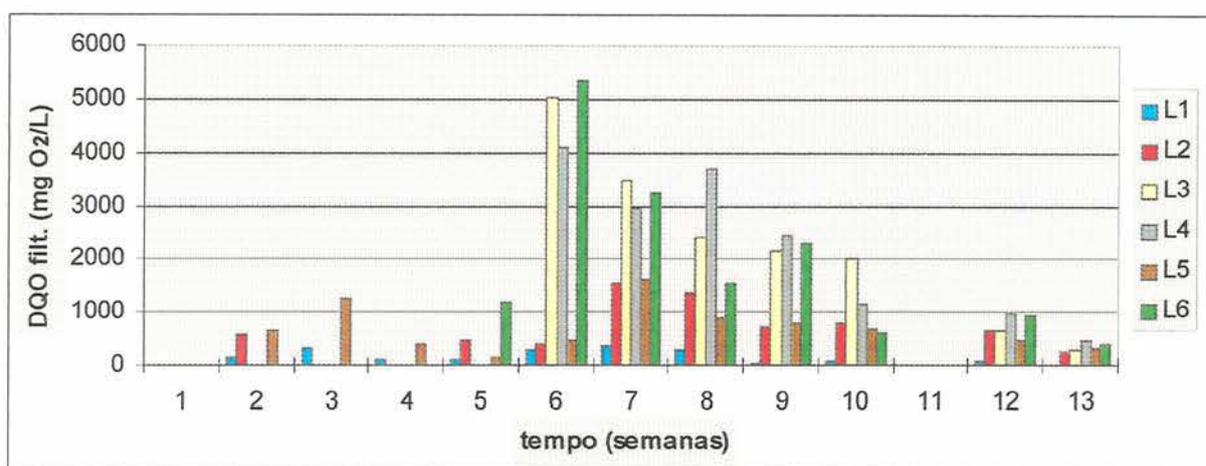


Figura D.74-Variação da concentração de DQO filtrada (mg O₂/L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1

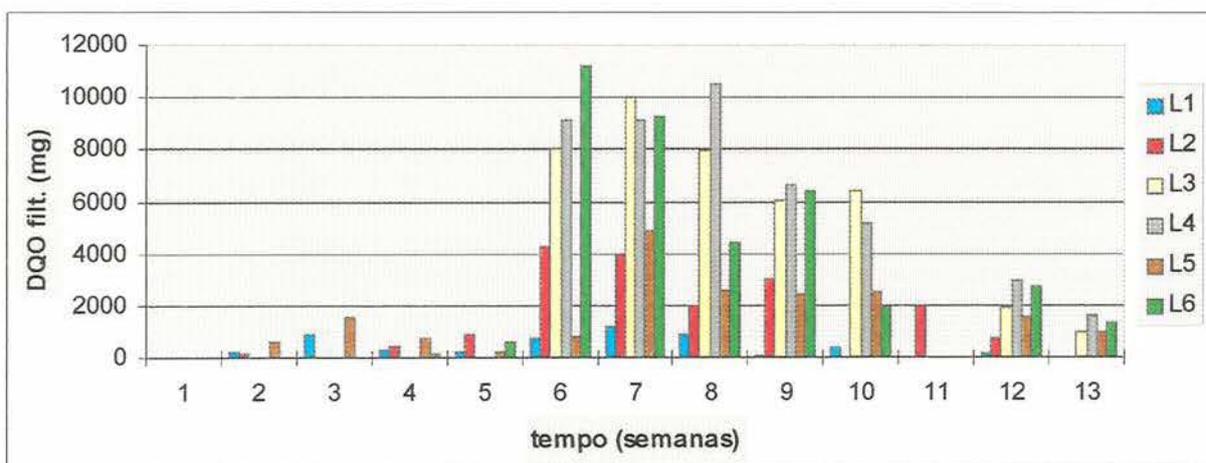


Figura D.75-Variação da carga de DQO filtrada (mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase 1

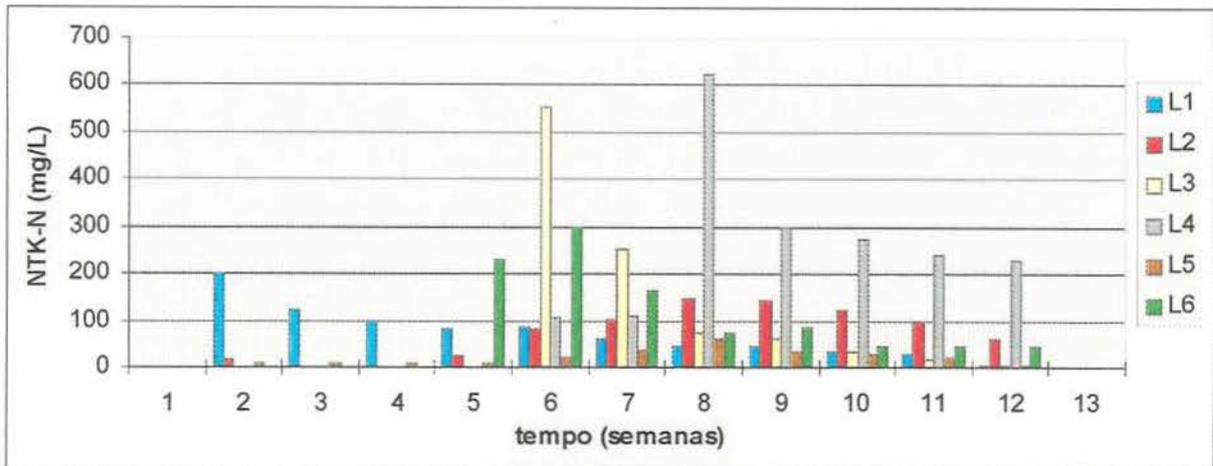


Figura D.76-Variação da concentração de NTK-N (mg/L) nos percolados dos lisímetros durante a Fase I

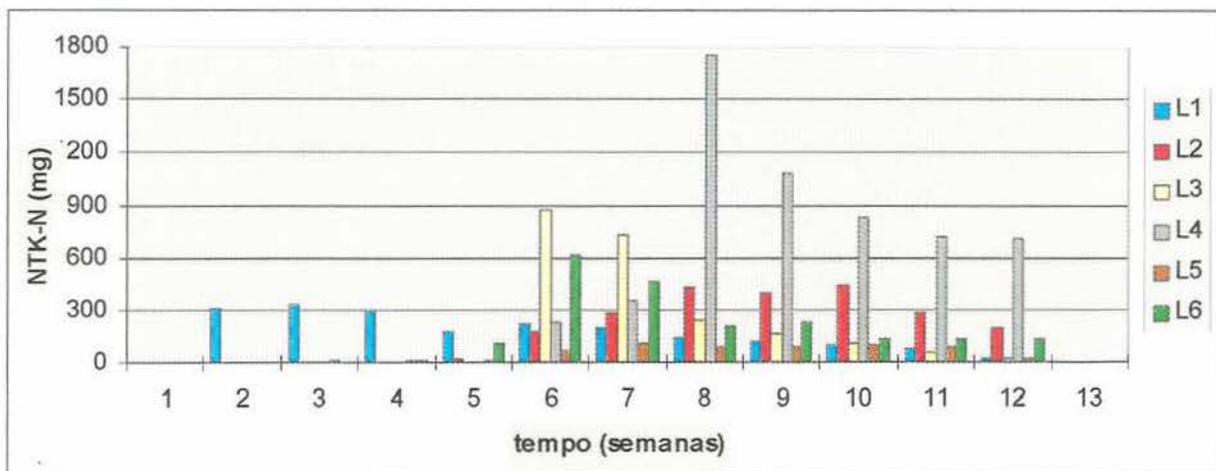


Figura D.77-Variação da carga de NTK-N(mg) nos percolados dos lisímetros durante a Fase I

ANEXO E

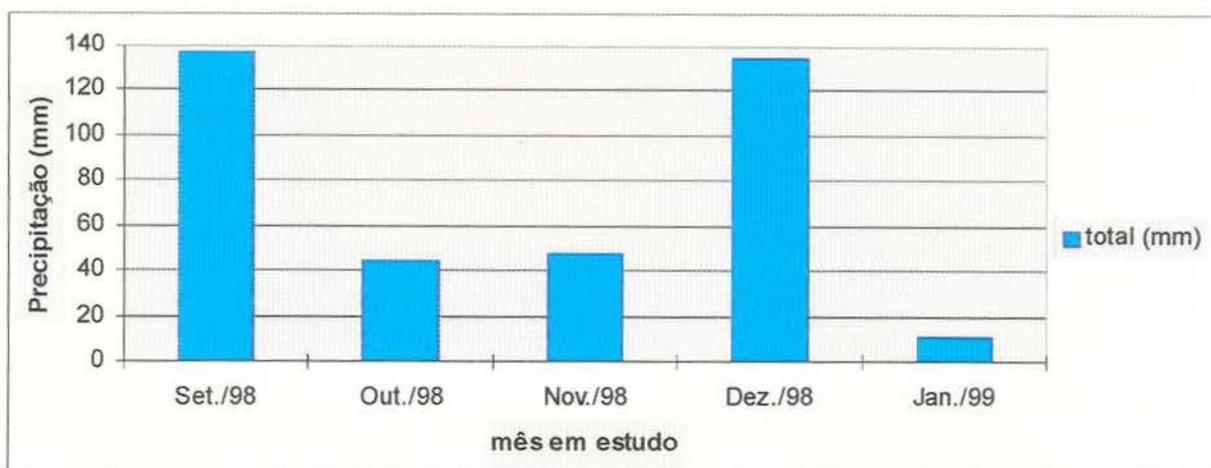


Figura E.1-Precipitação pluviométrica (mm) registrada na cidade de Porto Alegre-RS nos meses de pesquisa

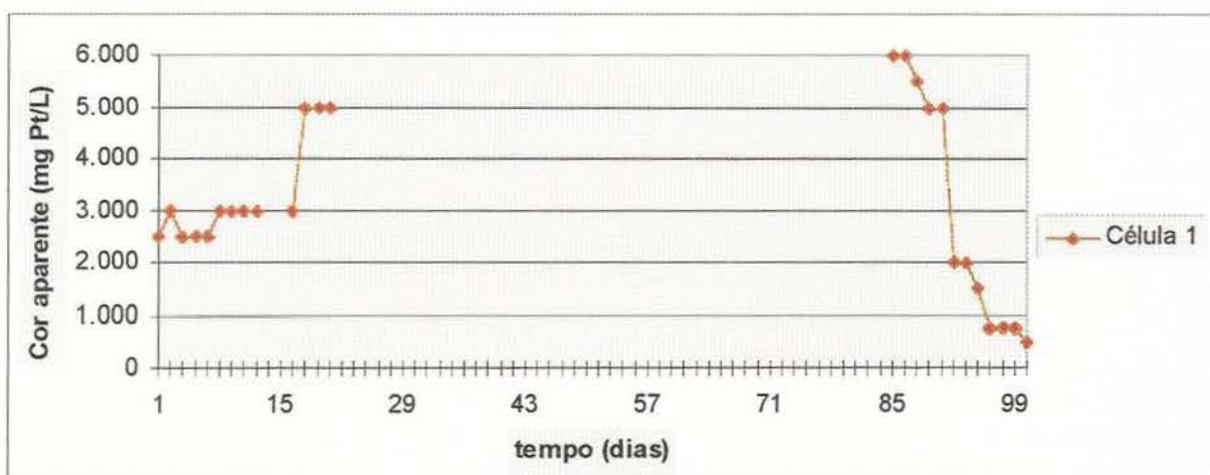




Figura E.4- Comportamento do potencial redox do percolado na Célula 1

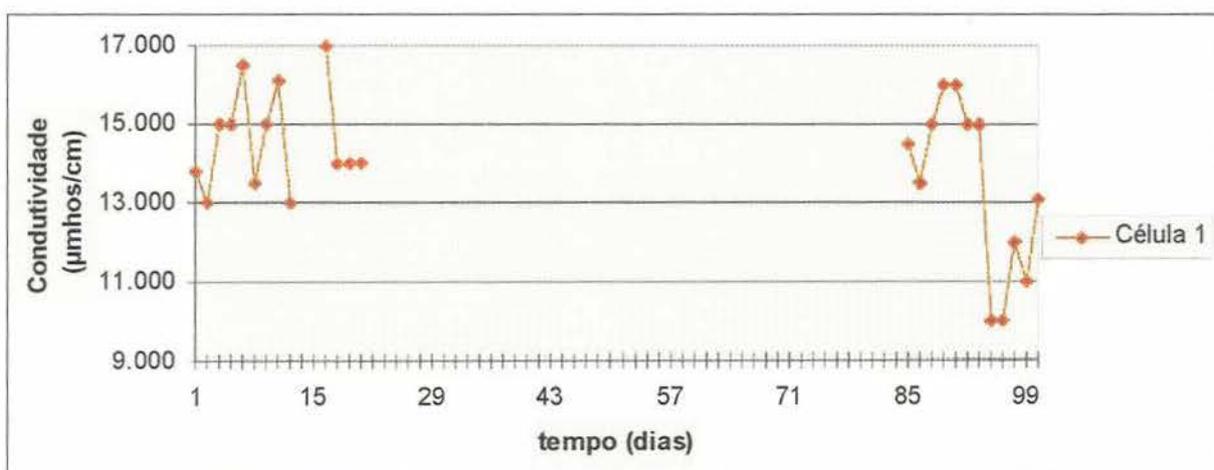


Figura E.5- Comportamento da condutividade do percolado na Célula 1

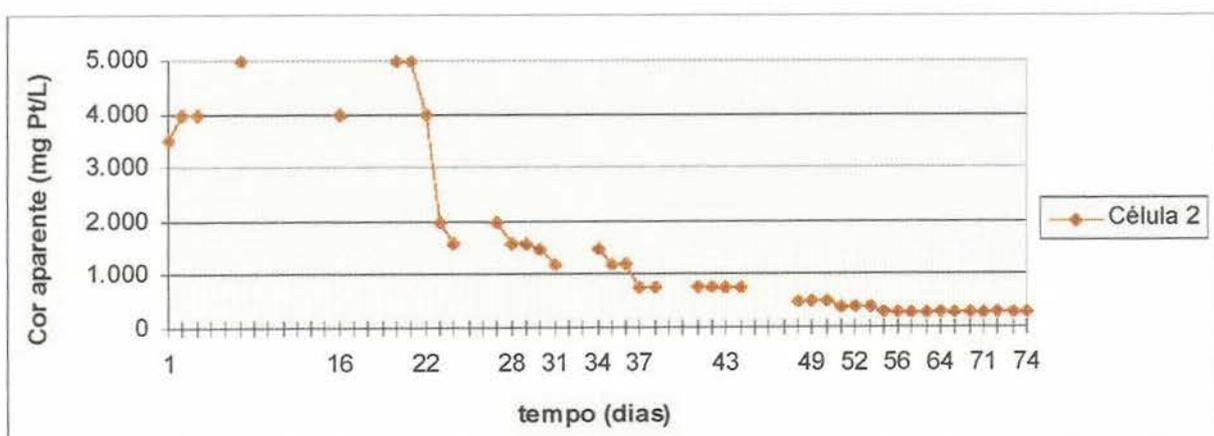


Figura E.6- Comportamento da cor aparente do percolado na Célula 2

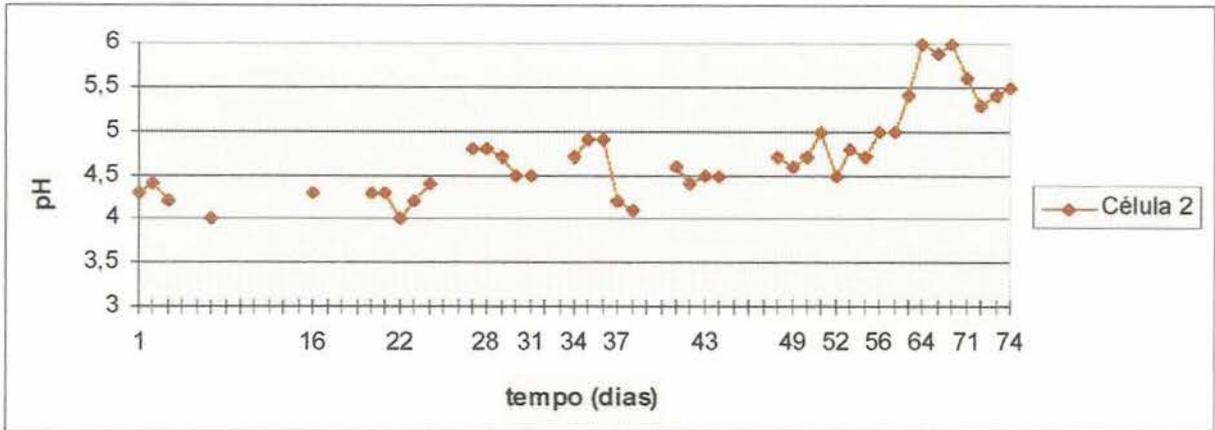


Figura E.7- Comportamento do pH do percolado na Célula 2

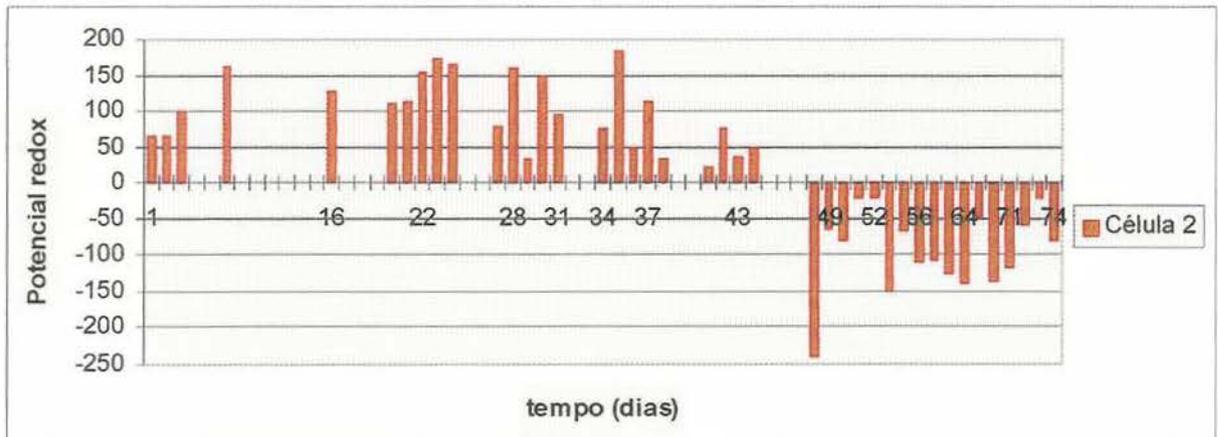


Figura E.8 - Comportamento do potencial redox do percolado na Célula 2

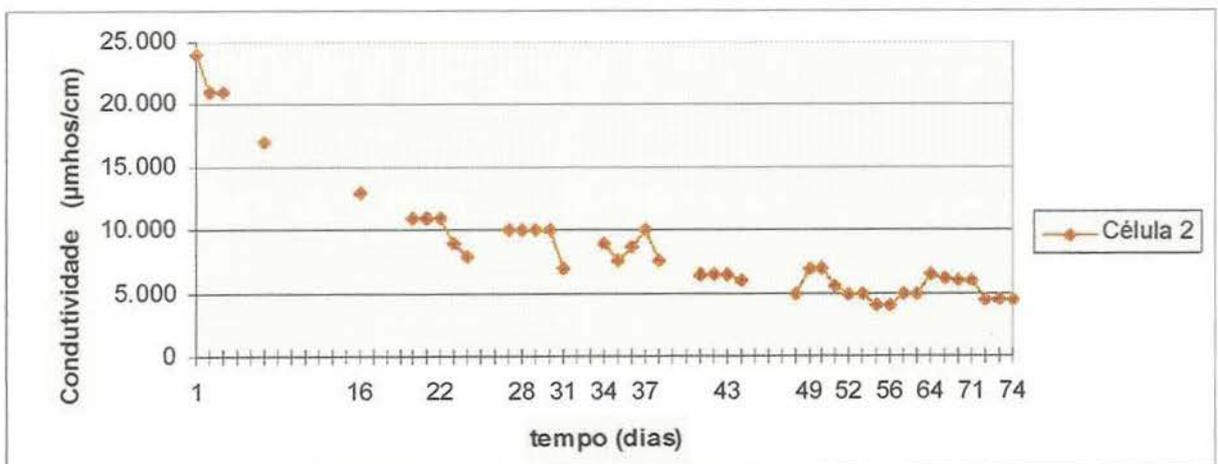


Figura E.9- Comportamento da condutividade do percolado na Célula 2

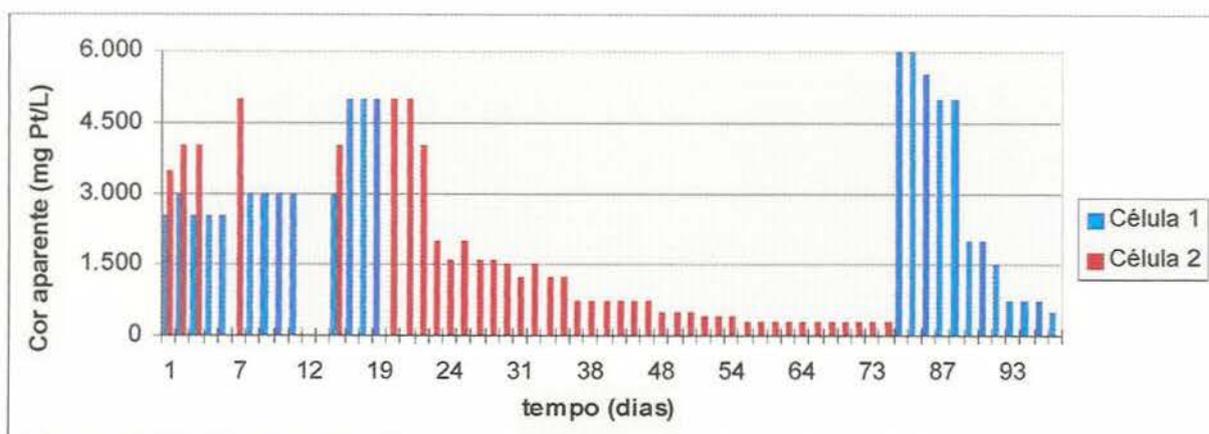


Figura E.10- Variação da cor aparente nos percolados das células de aterro sanitário

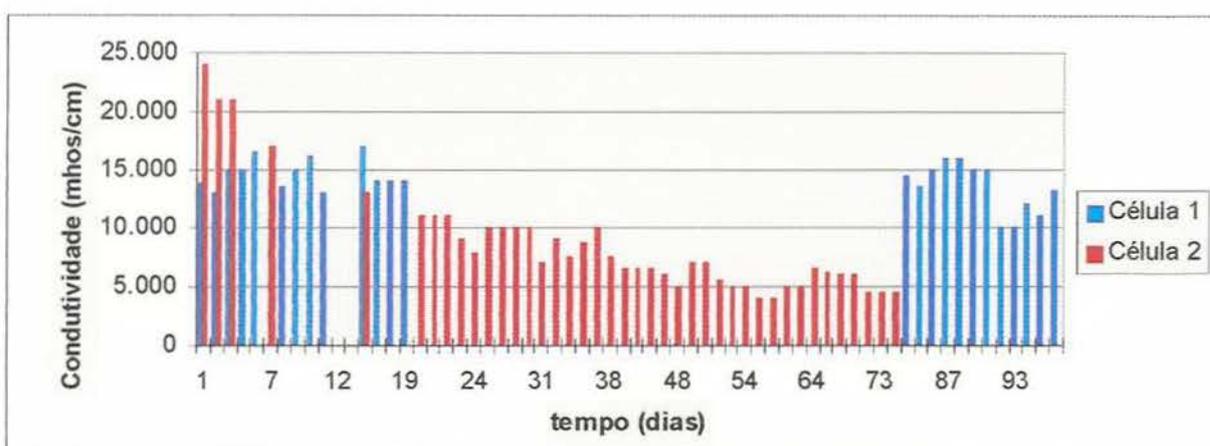


Figura E.11-Variação da condutividade nos percolados das células de aterro sanitário

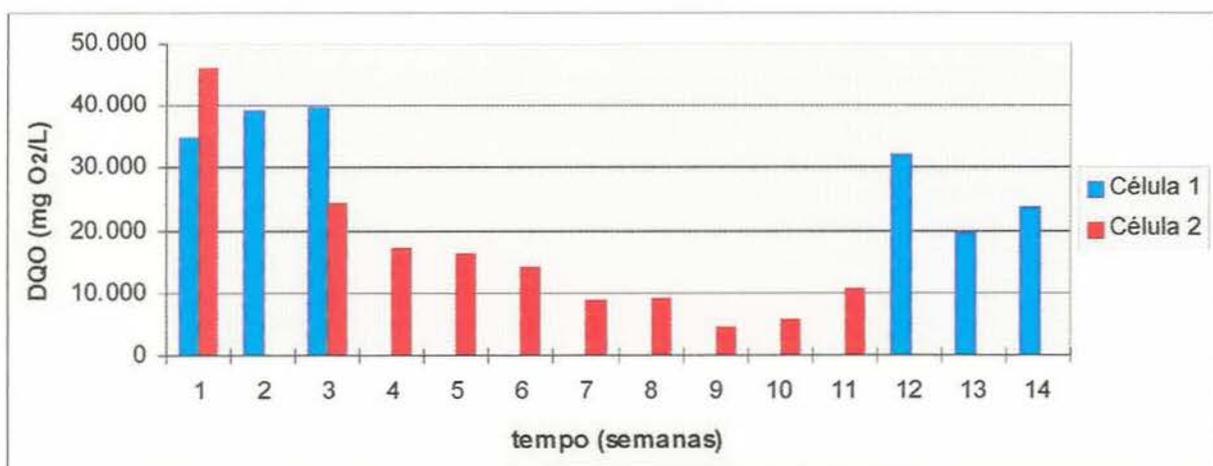


Figura E.12-Variação da concentração de DQO total (mg O₂/L) nos percolados das células de aterro sanitário

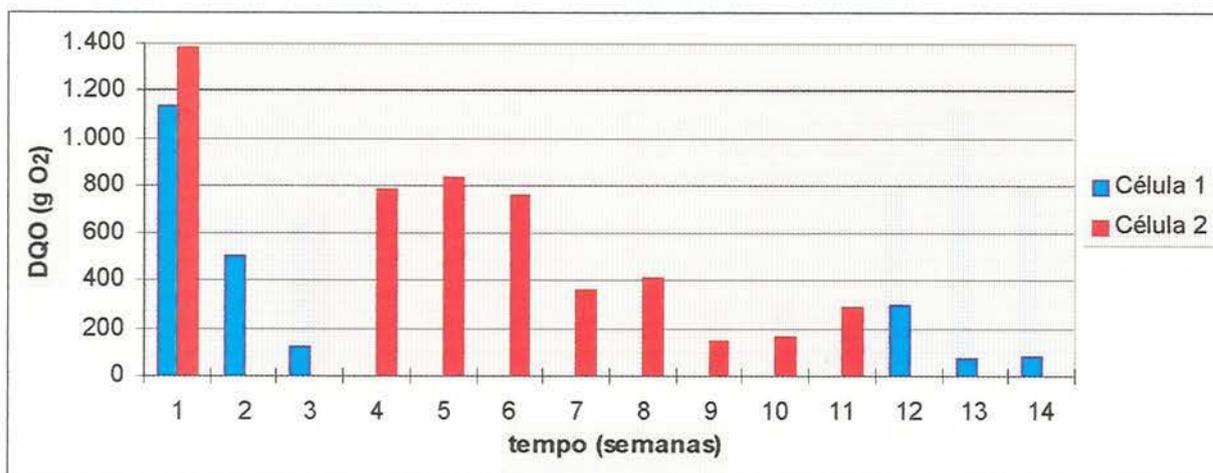


Figura E.13-Variação da carga de DQO total (g O₂) nos percolados das células de aterro sanitário



Figura E.14-Variação da concentração de DQO filtrada (mg O₂/L) nos percolados das células de aterro sanitário

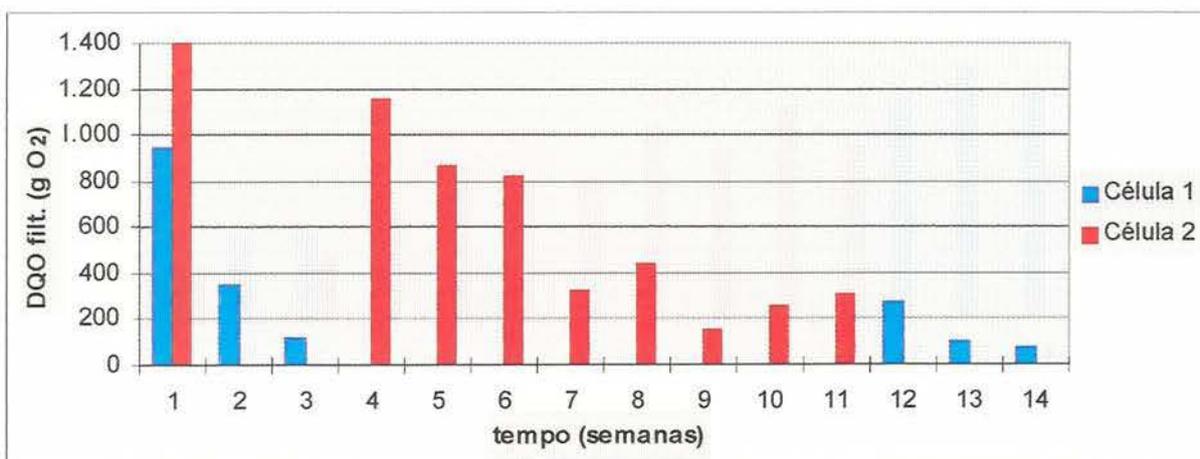


Figura E.15-Variação da carga de DQO filtrada (g O₂) nos percolados das células de aterro sanitário

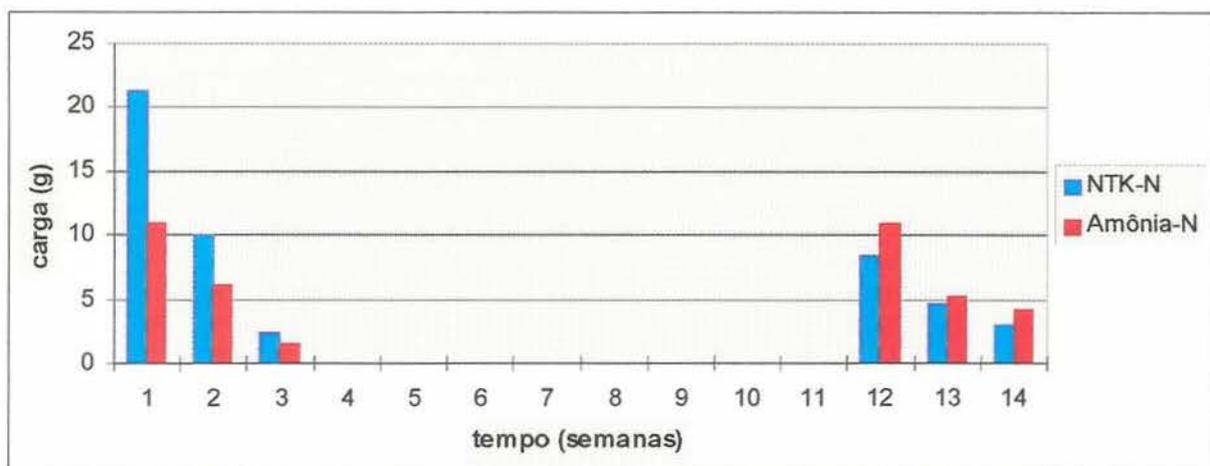


Figura E.22- Variação das cargas (g) de NTK-N e amônia-N nos percolados da **Célula 1**

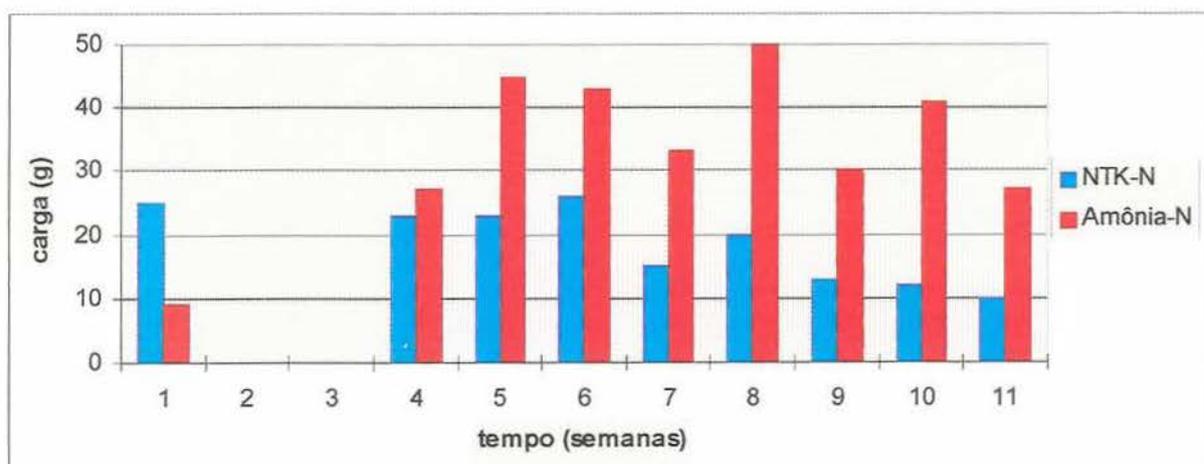


Figura E.23- Variação das cargas (g) de NTK-N e amônia-N nos percolados da **Célula 2**

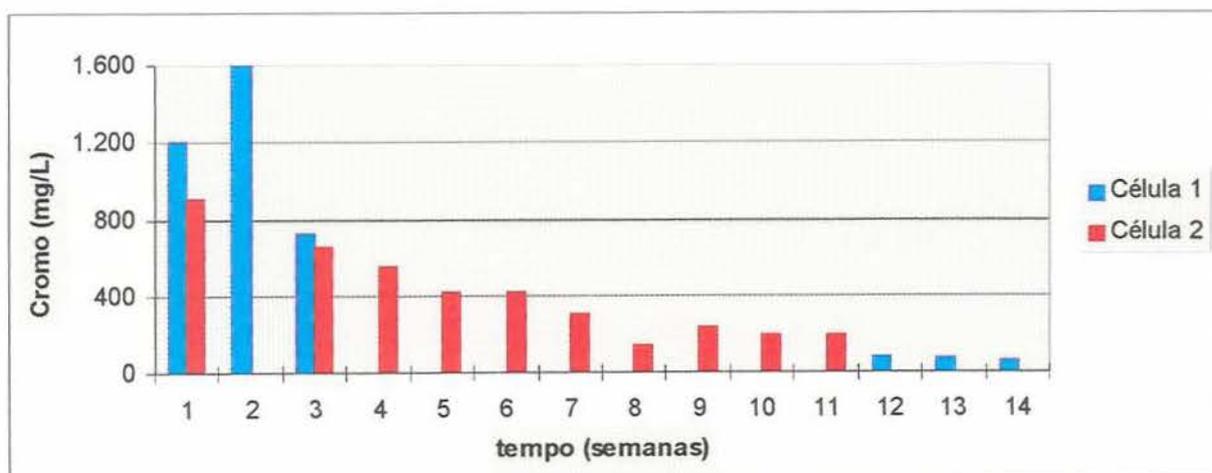


Figura E.24-Variação da concentração de cromo (mg/L) nos percolados das células de aterro sanitário



Figura E.25-Variação da carga de cromo (g) nos percolados das células de aterro sanitário

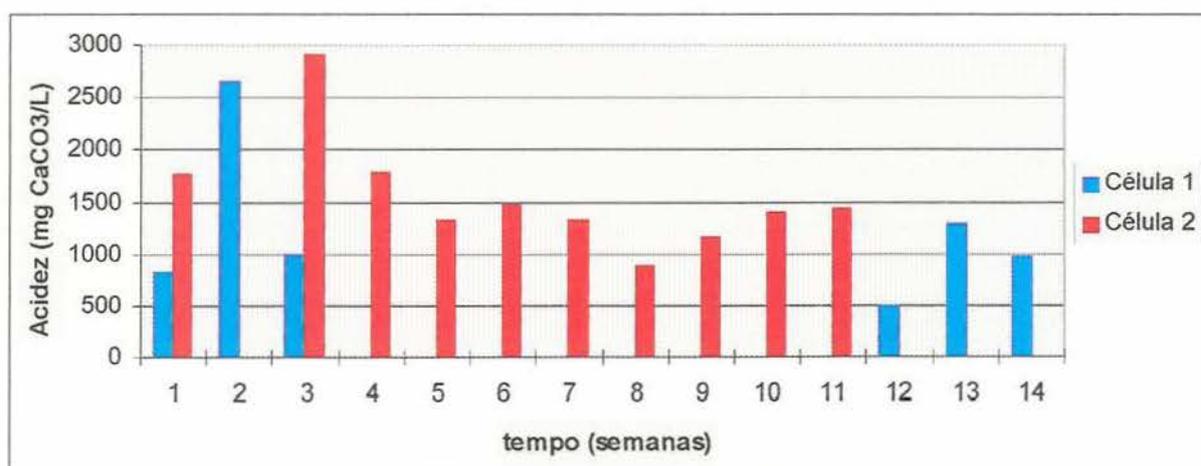


Figura E.26-Variação da concentração de acidez (mg CaCO₃/L) nos percolados das células de aterro sanitário

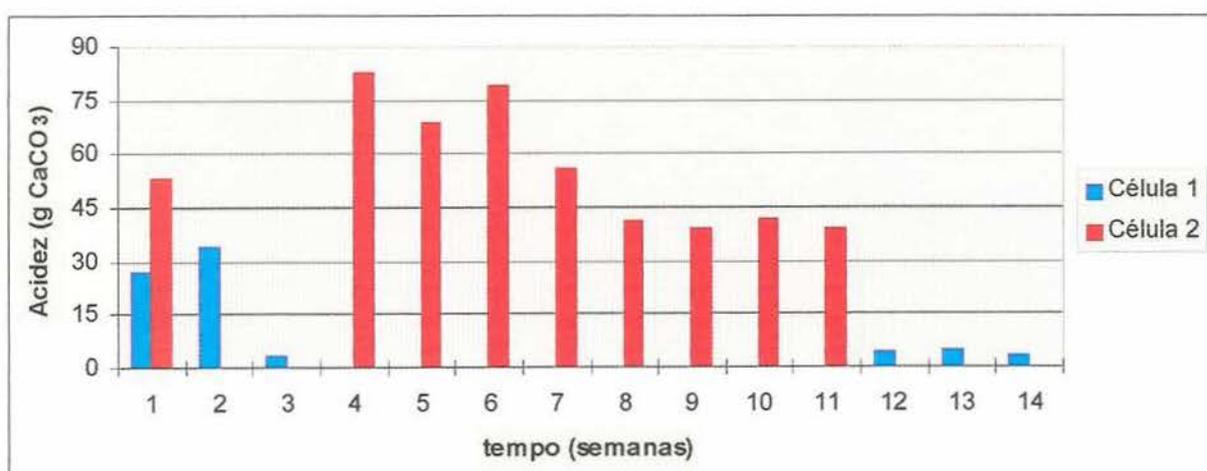


Figura E.27-Variação da carga de acidez (g CaCO₃) nos percolados das células de aterro sanitário

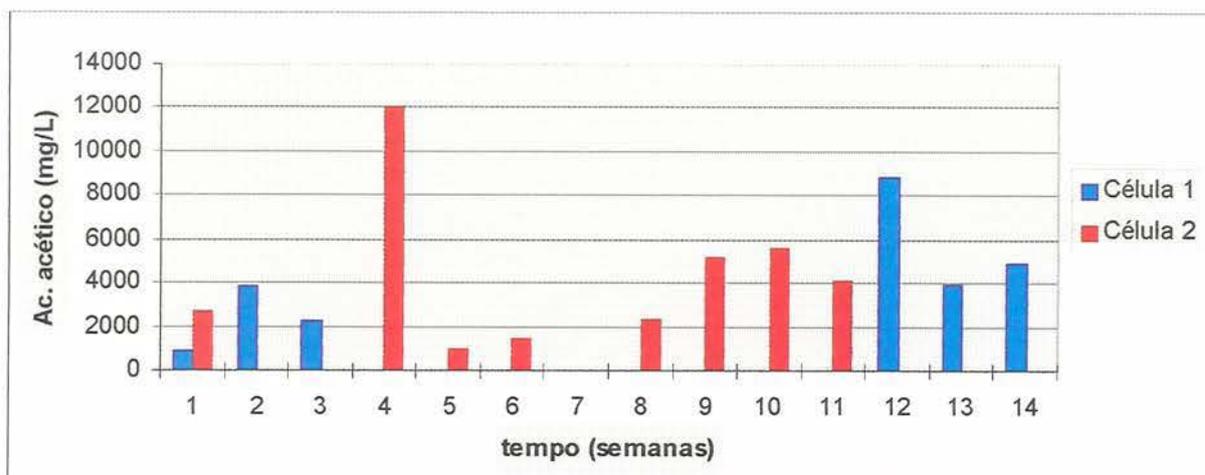


Figura E.28-Variação da concentração de ác. voláteis (mg ác. acético/L) nos percolados das células de aterro sanitário

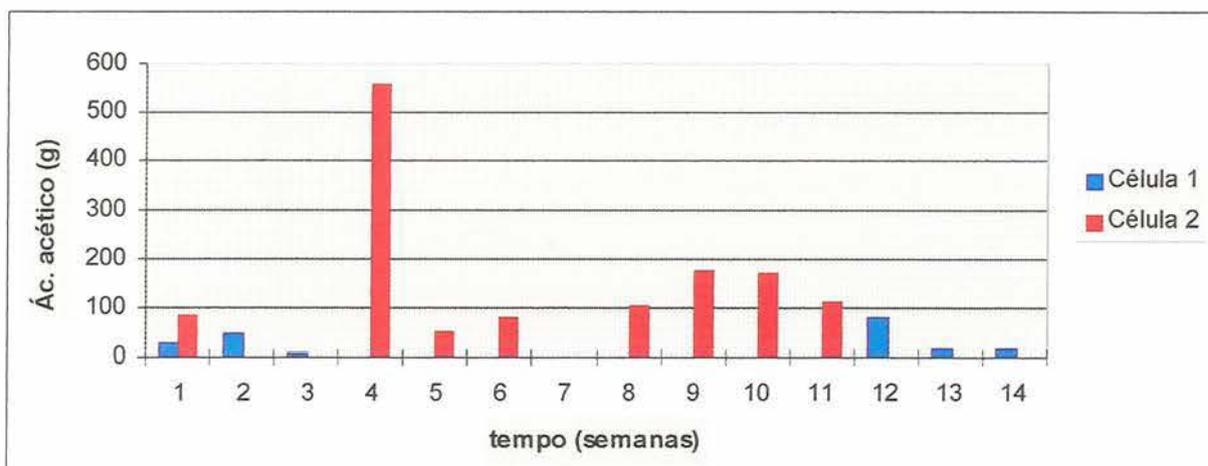


Figura E.29-Variação da carga de ác. voláteis (g ác. acético) nos percolados das células de aterro sanitário

ANEXO F

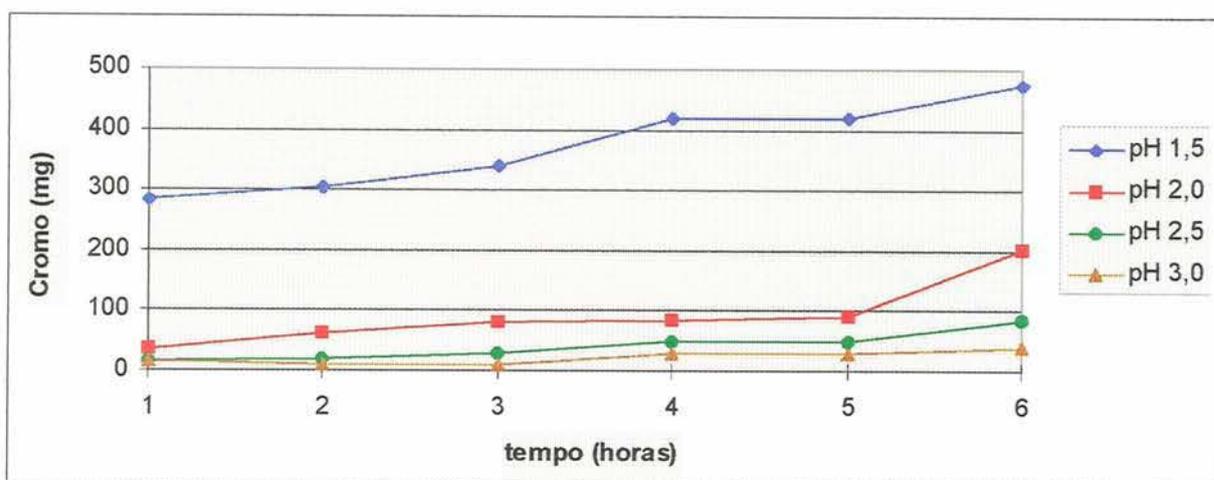


Figura F.1-Cargas de cromo (mg) encontradas no teste em aquário para pH diferentes - L1 ("wet blue")

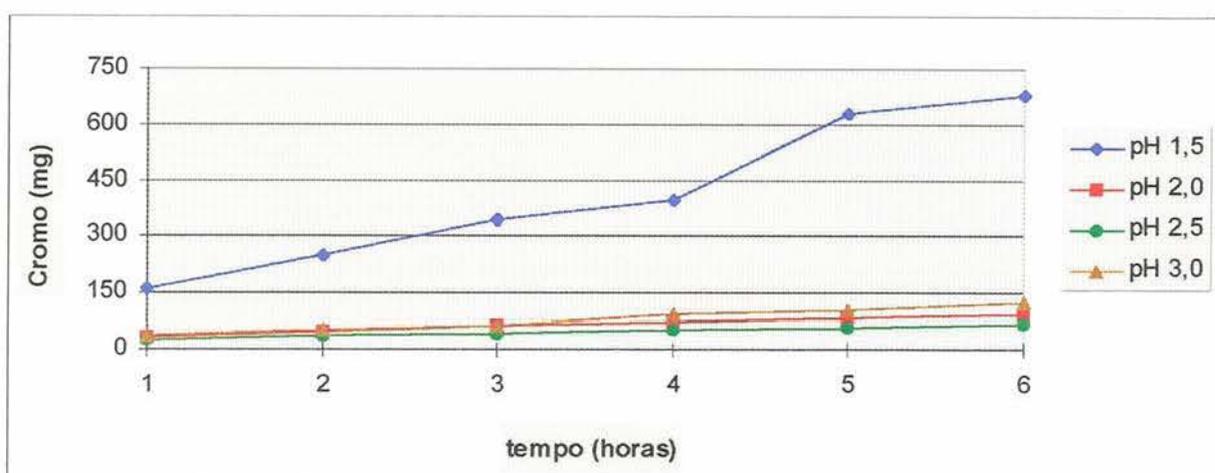


Figura F.2-Cargas de cromo (mg) encontradas no teste em aquário para pH diferentes - L2 (preto semi)

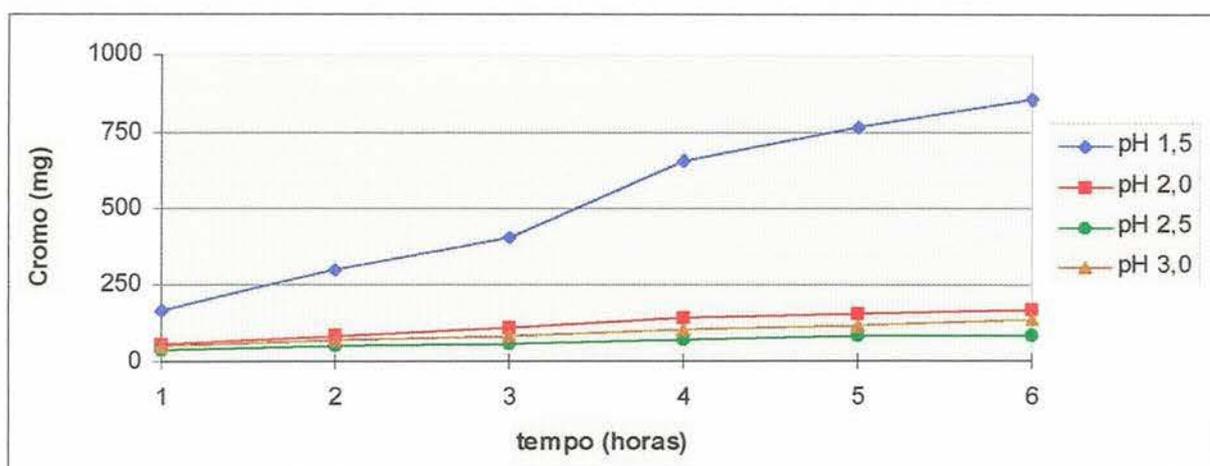


Figura F.3-Cargas de cromo (mg) encontradas no teste em aquário para pH diferentes - L3 (preto acab.)

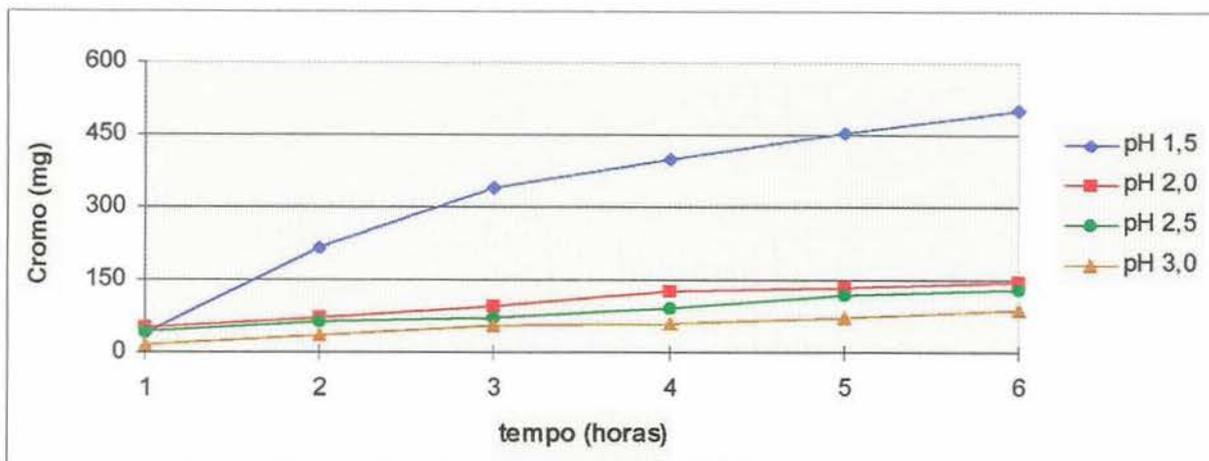


Figura F.4-Cargas de cromo (mg) encontradas no teste em aquário para pH diferentes - L4 (marrom semi)

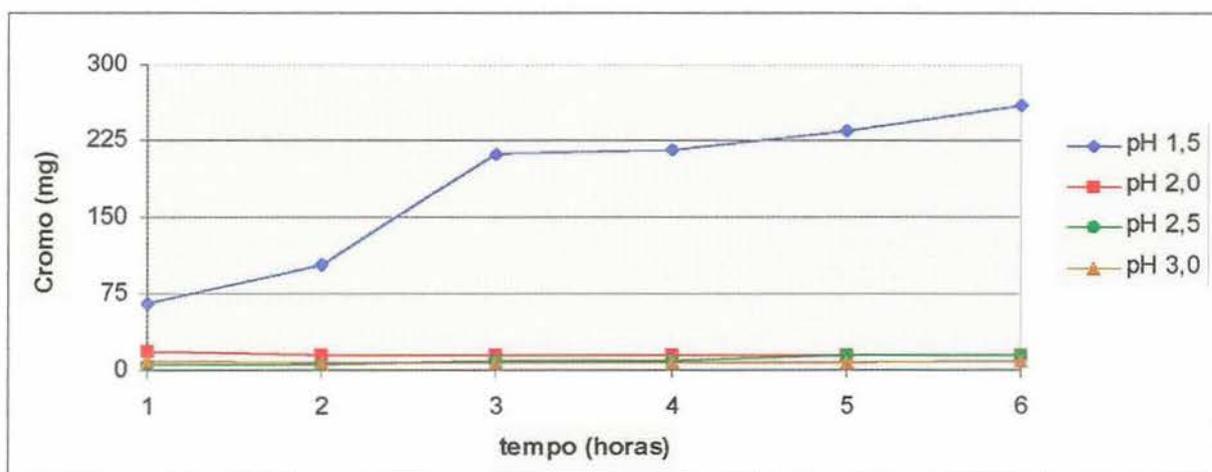


Figura F.5-Cargas de cromo (mg) encontradas no teste em aquário para pH diferentes - L5 (marrom acab.)

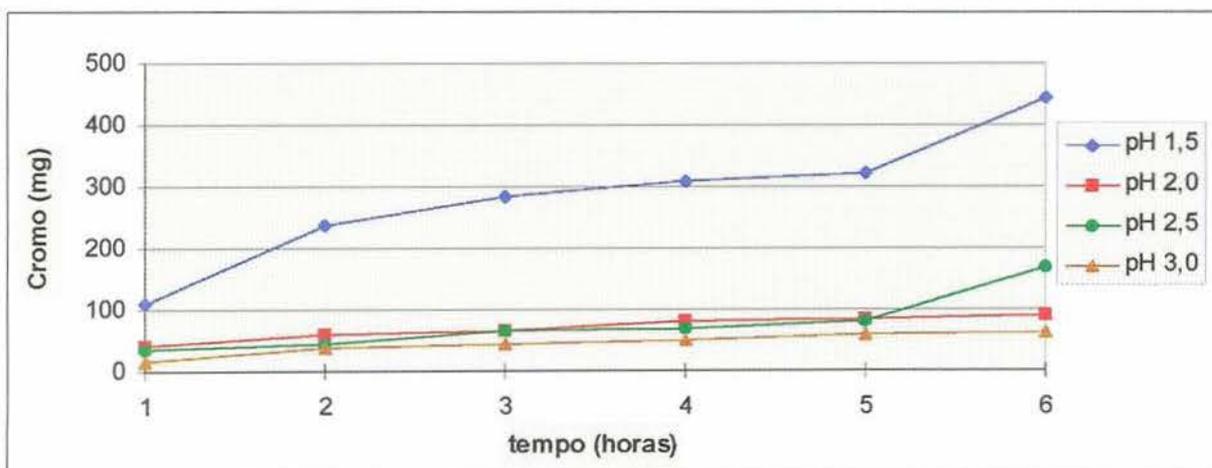


Figura F.6-Cargas de cromo (mg) encontradas no teste em aquário para pH diferentes - L6 (verde acab, e branco semi)

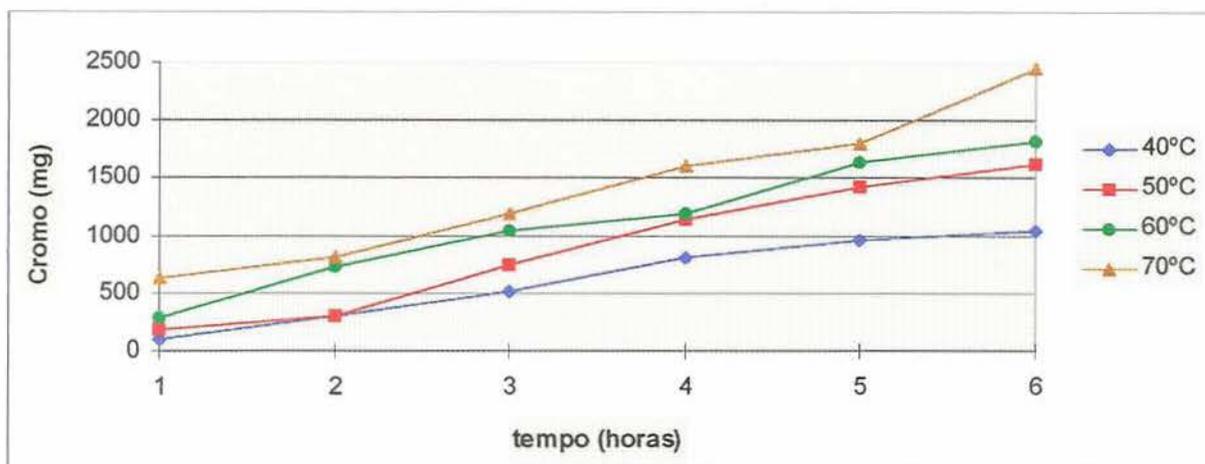


Figura F.7-Cargas de cromo (mg) encontradas no teste em aquário para temperaturas diferentes - L1 ("wet blue")

ANEXO G

Tabela G.1- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 5% (Fase 1)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L1	12	18,03780121	1,503150101	0,16510179
L2	12	4,363487351	0,363623946	0,080407827
L3	12	9,111961873	0,759330156	0,490813411
L4	12	7,870503776	0,655875315	0,458031836
L5	12	4,861395746	0,405116312	0,110794405
L6	12	7,374621446	0,614551787	0,233511734

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	10,27442084	5	2,054884167	8,013009346	5,97483E-06	2,353807815
Dentro dos grupos	16,92527104	66	0,256443501			
Total	27,19969188	71				

F calculado = 8,0130

F crítico (5%) = 2,3538

F calculado > F crítico (5%)

conclusão ⇒ há probabilidade de diferença de 95% entre as cargas lixiviadas dos diferentes tipos de couros.

Tabela G.2- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 5% (Fase 1)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L2	12	4,363487351	0,363623946	0,080407827
L3	12	9,111961873	0,759330156	0,490813411
L4	12	7,870503776	0,655875315	0,458031836
L5	12	4,861395746	0,405116312	0,110794405
L6	12	7,374621446	0,614551787	0,233511734

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,373430534	4	0,343357633	1,249882896	0,300813762	2,539685795
Dentro dos grupos	15,10915135	55	0,274711843			
Total	16,48258188	59				

F calculado = 1,2499

F crítico (5%) = 2,5399

F calculado < F crítico (5%)

conclusão ⇒ não há diferença significativa entre as cargas lixiviadas dos couros com diferentes níveis de acabamento.

Tabela G.3- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 1% (Fase 1)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L2	12	4,363487351	0,363623946	0,080407827
L3	12	9,111961873	0,759330156	0,490813411
L4	12	7,870503776	0,655875315	0,458031836
L5	12	4,861395746	0,405116312	0,110794405
L6	12	7,374621446	0,614551787	0,233511734

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,373430534	4	0,343357633	1,249882896	0,300813762	3,680895588
Dentro dos grupos	15,10915135	55	0,274711843			
Total	16,48258188	59				

F calculado = 1,2499

F crítico (1%) = 3,6809

F calculado < F crítico (1%)

conclusão ⇒ não há diferença significativa entre as cargas lixiviadas dos couros com diferentes níveis de acabamento.

Tabela G.4- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para couros preto ao nível de significância de 5% (Fase 1)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L2	12	4,363487351	0,363623946	0,080407827
L3	12	9,111961873	0,759330156	0,490813411

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,939500429	1	0,939500429	3,289445019	0,083391702	4,300943601
Dentro dos grupos	6,283433621	22	0,285610619			
Total	7,222934049	23				

F calculado = 3,2894

F crítico (5%) = 4,3009

F calculado < F crítico (5%)

conclusão ⇒ não há diferença significativa entre as cargas lixiviadas dos couros de coloração preta com diferentes níveis de acabamento

Tabela G.6- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para couros marrom ao nível de significância de 5% (Fase 1)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L4	12	7,870503776	0,655875315	0,458031836
L5	12	4,861395746	0,405116312	0,110794405

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,377280464	1	0,377280464	1,326522713	0,261787991	4,300943601
Dentro dos grupos	6,257088652	22	0,284413121			
Total	6,634369116	23				

F calculado = 1,3265

F crítico (5%) = 4,3009

F calculado < F crítico (5%)

conclusão ⇒ não há diferença significativa entre as cargas lixiviadas dos couros de coloração marrom com diferentes níveis de acabamento

Tabela G.7- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para couros marrom ao nível de significância de 1% (Fase 1)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L4	12	7,870503776	0,655875315	0,458031836
L5	12	4,861395746	0,405116312	0,110794405

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,377280464	1	0,377280464	1,326522713	0,261787991	7,945345715
Dentro dos grupos	6,257088652	22	0,284413121			
Total	6,634369116	23				

F calculado = 1,3265

F crítico (1%) = 7,9453

F calculado < F crítico (1%)

conclusão \Rightarrow não há diferença significativa entre as cargas lixiviadas dos couros de coloração marrom com diferentes níveis de acabamento

Tabela G.8- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 5% (Fase 2)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L1	10	17,33149502	1,733149502	0,249667493
L2	10	5,563708211	0,556370821	0,082308761
L3	10	2,479383697	0,24793837	0,019429741
L4	10	0,882499218	0,088249922	0,015968976
L5	10	1,869152444	0,186915244	0,008918141
L6	10	1,467982564	0,146798256	0,005179673

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	19,79407664	5	3,958815328	62,26628201	3,42581E-21	2,386066456
Dentro dos grupos	3,433255059	54	0,063578797			
Total	23,2273317	59				

F calculado = 62,2663

F crítico (5%) = 2,3860

F calculado > F crítico (5%)

conclusão ⇒ há diferença significativa de 95% entre as cargas lixiviadas dos diferentes tipos de couros

Tabela G.9- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para diferentes couros ao nível de significância de 5% (Fase 2)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L2	10	5,563708211	0,556370821	0,082308761
L3	10	2,479383697	0,24793837	0,019429741
L4	10	0,882499218	0,088249922	0,015968976
L5	10	1,869152444	0,186915244	0,008918141
L6	10	1,467982564	0,146798256	0,005179673

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,345481066	4	0,336370266	12,76012001	5,06504E-07	2,578737224
Dentro dos grupos	1,18624762	45	0,026361058			
Total	2,531728686	49				

F calculado = 12,7601

F crítico _(5%) = 2,5787

F calculado > F crítico _(5%)

conclusão ⇒ há probabilidade de diferenças de 95 % entre as cargas lixiviadas dos couros com diferentes níveis de acabamento.

Tabela G.10- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para couros preto ao nível de significância de 5% (Fase 2)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L2	10	5,563708211	0,556370821	0,082308761
L3	10	2,479383697	0,24793837	0,019429741

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,475652885	1	0,475652885	9,35049909	0,006775281	4,413863053
Dentro dos grupos	0,915646518	18	0,050869251			
Total	1,391299403	19				

F calculado = 9,3505

F crítico _(5%) = 4,4137

F calculado > F crítico _(5%)

conclusão ⇒ há probabilidade de diferenças de 95 % entre as cargas lixiviadas dos couros de coloração preta com diferentes níveis de acabamento

Tabela G.12- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada nos lisímetros para couros marrom ao nível de significância de 1% (Fase 2)

Anova: fator único

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
L4	10	0,882499218	0,088249922	0,015968976
L5	10	1,869152444	0,186915244	0,008918141

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,048674229	1	0,048674229	3,911600572	0,063470793	8,285496733
Dentro dos grupos	0,223984047	18	0,012443558			
Total	0,272658277	19				

F calculado = 3,9117

F crítico _(1%) = 8,2855

F calculado < F crítico _(1%)

conclusão ⇒ não há diferença significativa entre as cargas lixiviadas dos couros de coloração marrom com diferentes níveis de acabamento

Tabela G.13- Análise estatística referente as quantidade de cromo presente nas aparas de couro antes e após cada fase ao nível de significância de 5%

Anova: fator duplo sem repetição

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
apara bruta	6	26,40364415	4,400607358	0,003505682
fase 1	6	26,41465879	4,402443132	0,003094215
fase2	6	26,42659112	4,404431853	0,003767416
L1	3	12,92425694	4,308085647	7,63875E-05
L2	3	13,15502056	4,385006853	4,25892E-06
L3	3	13,45563045	4,48521015	4,95681E-05
L4	3	13,18859104	4,396197012	3,04211E-06
L5	3	13,21943475	4,40647825	8,04237E-05
L6	3	13,30196032	4,433986774	6,45248E-05

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	4,39037E-05	2	2,19518E-05	0,428323091	0,663012288	4,102815865
Colunas	0,05132406	5	0,010264812	200,2864302	1,09457E-09	3,325837383
Erro	0,000512507	10	5,12507E-05			
Total	0,051880471	17				

1.(entre as fases) F calculado = 0,4283 F crítico $_{(5\%)}$ = 4,1028 F calculado < F crítico $_{(5\%)}$

2.(entre os lisímetros) F calculado = 200,28 F crítico $_{(5\%)}$ = 3,3258 F calculado > F crítico $_{(5\%)}$

conclusão 1 \Rightarrow não há diferença significativa da quantidade de cromo presente nas aparas de couro antes e após cada fase

conclusão 2 \Rightarrow há probabilidade de diferenças de 95 % na quantidade de cromo presente nos diferentes tipos de aparas de couro analisadas.

Tabela G.14- Análise estatística referente as quantidade de cromo presente nas aparas de couro antes e após cada fase ao nível de significância de 1%

Anova: fator duplo sem repetição

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
	1	4	6,348036998	1,587009249	0,362463573
	2	4	6,584670384	1,646167596	0,420860045
	3	4	6,927678264	1,731919566	0,424983967
	4	4	7,726686467	1,931671617	0,245395943
	5	4	7,765750489	1,941437622	0,245718777
	6	4	8,513836096	2,128459024	0,215774143
pH 1,5		6	15,3847789	2,564129816	0,007765993
pH 2,0		6	11,4678846	1,9113141	0,061604842
pH 2,5		6	9,281601444	1,546933574	0,07907831
pH 3,0		6	7,73239376	1,288732293	0,069715145

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	0,857048963	5	0,171409793	10,9985008	0,000136555	2,901295204
Colunas	5,511816855	3	1,837272285	117,8884845	1,18518E-10	3,28738281
Erro	0,233772488	15	0,015584833			
Total	6,602638306	23				

1.(entre as fases) F calculado = 0,4283 F crítico _(1%) = 7,5595 F calculado < F crítico _(1%)

2.(entre os lisímetros) F calculado = 200,28 F crítico _(1%) = 5,6364 F calculado > F crítico _(1%)

conclusão 1⇒ não há diferenças significativa da quantidade de cromo presente nas aparas de couro antes e após cada fase

conclusão 2⇒ há probabilidade de diferenças de 99 % na quantidade de cromo presente nos diferentes tipos de aparas de couro analisadas

Tabela G.15- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5% para a serragem de couro “wet blue”

Anova: fator duplo sem repetição

RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância
	1	4 6,348036998	1,587009249	0,362463573
	2	4 6,584670384	1,646167596	0,420860045
	3	4 6,927678264	1,731919566	0,424983967
	4	4 7,726686467	1,931671617	0,245395943
	5	4 7,765750489	1,941437622	0,245718777
	6	4 8,513836096	2,128459024	0,215774143
pH 1,5	6	15,3847789	2,564129816	0,007765993
pH 2,0	6	11,4678846	1,9113141	0,061604842
pH 2,5	6	9,281601444	1,546933574	0,07907831
pH 3,0	6	7,73239376	1,288732293	0,069715145

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítica
Linhas	0,857048963	5	0,171409793	10,9985008	0,000136555	2,90129
Colunas	5,511816855	3	1,837272285	117,8884845	1,18518E-10	3,2873
Erro	0,233772488	15	0,015584833			
Total	6,602638306	23				

1.(entre as horas)

F calculado = 10,9985

F crítico _(5%) = 2,9013

F calculado > F crítico _(5%)

2.(entre os pH)

F calculado = 117,89

F crítico _(5%) = 3,2874

F calculado > F crítico _(5%)

conclusão 1⇒ há probabilidade de diferenças de 95 % na carga de cromo solubilizada a cada hora para a serragem de couro wet blue

conclusão 2⇒ há probabilidade de diferenças de 95% na carga de cromo solubilizada para os diferentes pH testados para a serragem de couro “wet blue”

Tabela G.16- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5% para o couro preto semi-acabado

Anova: fator duplo sem repetição

RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variancia	
	1	4	6,62324929	1,655812323	0,137185567
	2	4	7,294190571	1,823547643	0,15085636
	3	4	7,730943693	1,932735923	0,171242028
	4	4	8,148351969	2,037087992	0,152383667
	5	4	8,490311464	2,122577866	0,21722873
	6	4	8,749035431	2,187258858	0,193787878
pH 1,5		6	15,3651205	2,560853417	0,056909884
pH 2,0		6	10,69068881	1,781781469	0,035650452
pH 2,5		6	9,828498778	1,63808313	0,024965743
pH 3,0		6	11,15177432	1,858629054	0,044783345

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crític
Linhas	0,783653073	5	0,156730615	84,28175674	1,95144E-10	2,90129
Colunas	3,040158645	3	1,013386215	544,9475882	1,58088E-15	3,2873
Erro	0,027894046	15	0,001859603			
Total	3,851705765	23				

1.(entre as horas)

F calculado = 84,2817

F crítico _(5%) = 2,9013

F calculado > F crítico _(5%)

2.(entre os pH)

F calculado = 544,95

F crítico _(5%) = 3,2874

F calculado > F crítico _(5%)

conclusão 1⇒ há probabilidade de diferenças de 95 % na carga de cromo solubilizada a cada hora para o couro preto semi-acabado

conclusão 2⇒ há probabilidade de diferenças de 95% na carga de cromo solubilizada para os diferentes pH testados para o couro preto semi-acabado

Tabela G.17- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5% para o couro preto acabado

Anova: fator duplo sem repetição

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	
	1	4	7,200884682	1,800221171	0,084519161
	2	4	7,943308986	1,985827247	0,113174874
	3	4	8,318629324	2,079657331	0,13924234
	4	4	8,810770011	2,202692503	0,184221093
	5	4	9,037780961	2,25944524	0,186970712
	6	4	9,192812337	2,298203084	0,192708188
pH 1,5		6	15,92993247	2,654988745	0,076808539
pH 2,0		6	12,26511798	2,04418633	0,033454162
pH 2,5		6	10,66100769	1,776834615	0,021091132
pH 3,0		6	11,64812816	1,941354694	0,023125409

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	0,71382606	5	0,142765212	36,56261833	6,9599E-08	2,901295204
Colunas	2,643938948	3	0,881312983	225,7070175	1,06147E-12	3,28738281
Erro	0,058570154	15	0,003904677			
Total	3,416335162	23				

1.(entre as horas)

F calculado = 36,5626

F crítico (5%) = 2,9013

F calculado > F crítico (5%)

2.(entre os pH)

F calculado = 225,71

F crítico (5%) = 3,2874

F calculado > F crítico (5%)

conclusão 1⇒ há probabilidade de diferenças de 95 % na carga de cromo lixiviada a cada hora para o couro preto acabado

conclusão 2⇒ há probabilidade de diferenças de 95% na carga de cromo lixiviada para os diferentes pH testados para o couro preto acabado

Tabela G.18- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5% para o couro marrom semi-acabado

Anova: fator duplo sem repetição

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
	1	4 6,108057374	1,527014343	0,057142111
	2	4 7,540535935	1,885133984	0,109548656
	3	4 8,094663252	2,023665813	0,124043981
	4	4 8,429186845	2,107296711	0,124837176
	5	4 8,710711257	2,177677814	0,117146135
	6	4 8,906298265	2,226574566	0,11028597
pH 1,5		6 14,40726827	2,401211378	0,178060647
pH 2,0		6 11,91040343	1,985067239	0,033238013
pH 2,5		6 11,45859102	1,90976517	0,03035003
pH 3,0		6 10,01319021	1,668865035	0,074880415

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	1,325703825	5	0,265140765	15,47865344	1,84782E-05	2,901295204
Colunas	1,672070394	3	0,557356798	32,53793404	8,26734E-07	3,28738281
Erro	0,256941696	15	0,017129446			
Total	3,254715915	23				

1.(entre as horas)

F calculado = 15,4787

F crítico _(5%) = 2,9013

F calculado > F crítico _(5%)

2.(entre os pH)

F calculado = 32,5379

F crítico _(5%) = 3,2874

F calculado > F crítico _(5%)

conclusão 1⇒ há probabilidade de diferenças de 95 % na carga de cromo lixiviada a cada hora para o couro marrom semi-acabado

conclusão 2⇒ há probabilidade de diferenças de 95% na carga de cromo lixiviada para os diferentes pH testados para o couro marrom semi-acabado

Tabela G.19- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5% para o couro marrom acabado

Anova: fator duplo sem repetição

RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância
	1	4 4,812913357	1,203228339	0,225619737
	2	4 4,790988475	1,197747119	0,333480764
	3	4 5,407560849	1,351890212	0,436561722
	4	4 5,411619706	1,352904926	0,439208128
	5	4 5,626340367	1,406585092	0,429996383
	6	4 5,767155866	1,441788967	0,427818625
pH 1,5	6	13,27260985	2,212101642	0,058697259
pH 2,0	6	7,181486291	1,196914382	0,002601615
pH 2,5	6	5,750122527	0,958353754	0,046569584
pH 3,0	6	5,612359948	0,935393325	0,002504413

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	0,211265314	5	0,042253063	1,860827124	0,161367202	2,901295204
Colunas	6,537457031	3	2,179152344	95,96998467	5,15123E-10	3,28738281
Erro	0,340599045	15	0,022706603			
Total	7,08932139	23				

1.(entre as horas)

F calculado = 1,8608

F crítico (5%) = 2,9013

F calculado < F crítico (5%)

2.(entre os pH)

F calculado = 95,9699

F crítico (5%) = 3,2874

F calculado > F crítico (5%)

conclusão 1⇒ não há diferença significativa na carga de cromo lixiviada a cada hora para o couro marrom acabado

conclusão 2⇒ há probabilidade de diferenças de 95% na carga de cromo lixiviada para os diferentes pH testados para o couro marrom acabado

Tabela G.20- Análise estatística referente a carga de cromo solubilizada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 1% para o couro marrom acabado

Anova: fator duplo sem repetição

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
	1	4 4,812913357	1,203228339	0,225619737
	2	4 4,790988475	1,197747119	0,333480764
	3	4 5,407560849	1,351890212	0,436561722
	4	4 5,411619706	1,352904926	0,439208128
	5	4 5,626340367	1,406585092	0,429996383
	6	4 5,767155866	1,441788967	0,427818625
pH 1,5	6	13,27260985	2,212101642	0,058697259
pH 2,0	6	7,181486291	1,196914382	0,002601615
pH 2,5	6	5,750122527	0,958353754	0,046569584
pH 3,0	6	5,612359948	0,935393325	0,002504413

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	0,211265314	5	0,042253063	1,860827124	0,161367202	4,555602118
Colunas	6,537457031	3	2,179152344	95,96998467	5,15123E-10	5,416950444
Erro	0,340599045	15	0,022706603			
Total	7,08932139	23				

1.(entre as horas)

F calculado = 1,8608

F crítico (5%) = 4,5556

F calculado < F crítico (5%)

2.(entre os pH)

F calculado = 95,9699

F crítico (5%) = 5,4170

F calculado > F crítico (5%)

conclusão 1 ⇒ não há diferença significativa na carga de cromo lixiviada a cada hora para o couro marrom acabado

conclusão 2 ⇒ há probabilidade de diferenças de 99% na carga de cromo lixiviada para os diferentes pH testados para o couro marrom acabado

Tabela G.21- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada no teste em “aquário” à temperatura constante e pH diferentes ao nível de significância de 5% para os couros verde acabado e branco semi-acabado

Anova: fator duplo sem repetição

RESUMO	Contagem	Soma	Média	Variância	
	1	4	6,36361198	1,590902995	0,125775909
	2	4	7,387724318	1,846931079	0,13138336
	3	4	7,711081604	1,927770401	0,129196907
	4	4	7,938519725	1,984629931	0,121498861
	5	4	8,119862685	2,029965671	0,106428516
	6	4	8,632391991	2,158097998	0,138618488
pH 1,5		6	14,5186803	2,419780051	0,042287405
pH 2,0		6	10,97987602	1,829979337	0,017119872
pH 2,5		6	10,98883086	1,831471811	0,055843858
pH 3,0		6	9,665805115	1,610967519	0,052355065

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	0,746434461	5	0,149286892	24,44746688	1,02929E-06	2,901295204
Colunas	2,167109588	3	0,722369863	118,2964763	1,15615E-10	3,28738281
Erro	0,09159654	15	0,006106436			
Total	3,005140589	23				

1.(entre as horas)

F calculado = 24,4475

F crítico (5%) = 2,9013

F calculado > F crítico (5%)

2.(entre os pH)

F calculado = 118,30

F crítico (5%) = 3,2874

F calculado > F crítico (5%)

conclusão 1⇒ há probabilidade de diferenças de 95 % na carga de cromo lixiviada a cada hora para os couros verde acabado e branco semi-acabado

conclusão 2⇒ há probabilidade de diferenças de 95% na carga de cromo lixiviada para os diferentes pH testados para os couros verde e branco

Tabela G.22- Análise estatística referente a carga de cromo lixiviada no teste em “aquário” à temperaturas diferentes e pH constante ao nível de significância de 5% para a serragem de couro wet blue

Anova: fator duplo sem repetição

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
1	4	1193	298,25	52590,25
2	4	2136	534	73824,66667
3	4	3502	875,5	95191
4	4	4760	1190	108452,6667
5	4	5820	1455	134512,6667
6	4	6943	1735,75	344308,9167
40°C	6	3706	617,6666667	139454,2667
50°C	6	5434	905,6666667	353235,4667
60°C	6	6719	1119,833333	325592,9667
70°C	6	8495	1415,833333	463869,3667

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	6033028	5	1206605,6	47,91510391	1,07453E-08	2,901295204
Colunas	2048908,167	3	682969,3889	27,12116472	2,63039E-06	3,28738281
Erro	377732,3333	15	25182,15556			
Total	8459668,5	23				

1.(entre as horas) F calculado = 47,9151 F crítico _(5%) = 2,9013 F calculado > F crítico _(5%)

2.(entre os pH) F calculado = 27,1211 F crítico _(5%) = 3,2874 F calculado > F crítico _(5%)

conclusão 1⇒ há probabilidade de diferenças de 95 % na carga de cromo lixiviada a cada hora para a serragem de couro wet blue

conclusão 2⇒ há probabilidade de diferença de 95% na carga de cromo lixiviada nas diferentes temperaturas testadas para o couro wet blue