

**TIAGO DE MORAIS FARIA NOVAIS**

**EXECUÇÃO DE UM PÁTIO DE COMPOSTAGEM EM SOLO-  
CIMENTO ANÁLISES DE SUAS PROPRIEDADES E INFLUÊNCIA NO  
PROCESSO DE COMPOSTAGEM**

**Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, para obtenção do  
título de *Magister Scientiae*.**

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2011**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

N935e  
2011

Novais, Tiago de Moraes Faria, 1986-

Execução de um pátio de compostagem em solo-cimento :  
análises de suas propriedades e influência no processo de  
compostagem / Tiago de Moraes Faria Novais. – Viçosa,  
MG, 2011.

xii, 80f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Mônica de Abreu Azevedo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 71-76.

1. Compostagem. 2. Lixo - Eliminação. 3. Solo-cimento.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 628.1684

TIAGO DE MORAIS FARIA NOVAIS

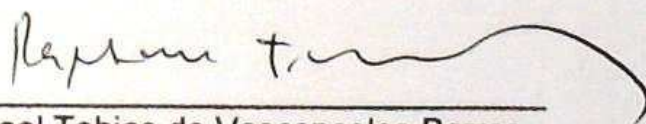
**EXECUÇÃO DE UM PÁTIO DE COMPOSTAGEM EM SOLO-CIMENTO:  
ANÁLISES DE SUAS PROPRIEDADES E INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE  
COMPOSTAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

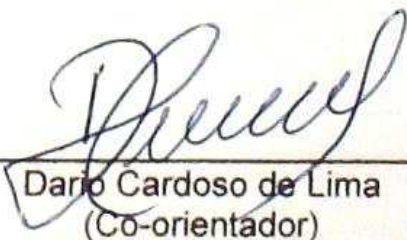
APROVADA: 26 de julho de 2011.




Roberto Francisco de Azevedo



Raphael Tobias de Vasconcelos Barros



Dario Cardoso de Lima  
(Co-orientador)



Mônica de Abreu Azevedo  
(Orientadora)

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por tudo.

Aos meus pais e irmã pelo apoio e paciência.

À professora Mônica, pela confiança, orientação, amizade e paciência durante todo o mestrado.

À FEAM, pela bolsa e auxílio na pesquisa.

Aos funcionários do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental – LESA, UFV, Geraldo, Júlio e André pelo auxílio com análises e diversas outras necessidades e principalmente Agostinho pela ajuda nos experimentos.

Ao professor Dario pelos conselhos e ajuda, os quais possibilitaram esta pesquisa.

Ao professores Eduardo e Lúcia pela amizade e conselhos durante o mestrado.

Ao amigo Mauro pelo auxílio na pesquisa, nos estudos e amizade nestes anos.

Aos amigos Felipe e Henrique, e tantos outros que, com conselhos e amizade me possibilitaram chegar a este momento.

Às amigas Cristiane e Priscila, pelo companheirismo durante estes anos.

À Fundação Educacional de Divinópolis – Universidade do Estado de Minas Gerais, pelo apoio concedido através das análises no Laboratório de Engenharia Civil.

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIações

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials  
ASTM – American Society for Testing and Materials  
C/N – Relação Carbono/Nitrogênio  
 $CO_2$  - Dióxido de Carbono  
COPAM (MG) – Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais  
DN – Deliberação Normativa  
DER – Departamento de Estradas de Rodagem  
DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem  
DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes  
FEAM (MG) – Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais  
FPM – Fundo de Participação dos Municípios  
HRB – Highway Research Board  
IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
LESA – Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFV)  
MPa – Mega Pascal  
NBR – Norma Técnica  
PCA – Portland Cement Association  
pH – Potencial hidrogeniônico  
PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico  
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos  
SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil  
UFV – Universidade Federal de Viçosa  
UTC – Unidade de Triagem e Compostagem  
 $W_{ot}$  - Umidade Ótima  
 $\gamma_d \max$  - Peso Específico Aparente Seco Máximo  
 $\gamma_s$  - Peso Específico dos Sólidos

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Unidade de Triagem e Compostagem em São Geraldo (MG)	10
Figura 2. Esquema de funcionamento de UTC's	11
Figura 3. Destinação final de resíduos sólidos no Brasil por municípios	13
Figura 4. Destinação final de resíduos sólidos no Brasil por quantidade coletada	14
Figura 5. Quantidade de resíduos coletados por forma de tratamento e destinação final	14
Figura 6. Destinos de resíduos sólidos por faixas populacionais	16
Figura 7. Municípios com disposição final de resíduos sólidos por tipo de unidade em 2003	17
Figura 8. Municípios com disposição final e/ou tratamento de resíduos sólidos por tipo de unidade em 2010	17
Figura 9. Esquema simplificado do processo compostagem	20
Figura 10. Exemplo da evolução da temperatura de uma leira em compostagem	25
Figura 11. Distribuição de temperatura na leira vista em corte durante a fase termófila	25
Figura 12. Execução de base estabilizada com solo cimento	33
Figura 13. Teor do cimento em massa, para o ensaio de compressão simples, em função da porcentagem de material menor do que 0,05mm e da massa específica aparente seca máxima, dado sob forma de número inteiro	34
Figura 14. Talude na região da Vila Secundino - UFV	35
Figura 15. Esquema do protótipo do pátio em solo cimento	38
Figura 16. Terreno limpo, nivelado e gabaritado para execução da base de concreto	39
Figura 17. Base de concreto executada e "polida" com cimento	39
Figura 18. Contorno da base com blocos preenchidos com concreto	40
Figura 19. Execução de camada de brita 2	40
Figura 20. Compactação do pátio em solo-cimento	41

Figura 21. Pátio de solo cimento ao término da execução	42
Figura 22. Tubos de coleta de águas pluviais do pátio e cama de brita	42
Figura 23. Execução de camada de argamassa	43
Figura 24. Compostagem sendo realizada no pátio em solo-cimento	45
Figura 25. Compostagem sendo realizada no pátio de concreto comum	46
Figura 26. Variação de temperatura em ambos os pátios – experimento 1	52
Figura 27. Variação de temperatura em ambos os pátios – experimento 2	52
Figura 28. Variação de temperatura em ambos os pátios nos experimentos 1 e 2	53
Figura 29. Variação de umidade e precipitação em ambos os pátios – experimento 1	53
Figura 30. Variação de umidade e precipitação em ambos os pátios – experimento 2	55
Figura 31. Variação de umidade e precipitação em ambos os pátios para os experimentos 1 e 2	55
Figura 32. Variação de sólidos voláteis – experimento 1	56
Figura 33. Variação de sólidos voláteis – experimento 2	56
Figura 34. Variação de sólidos voláteis para os experimentos 1 e 2	57
Figura 35. Variação de pH para ambos os pátios – experimento 1	57
Figura 36. Variação de pH para ambos os pátios – experimento 2	58
Figura 37. Variação de pH para ambos os pátios – experimentos 1 e 2	58
Figura 38. Variação da resistência à compressão simples para o solo cimento com teor de 8% de cimento	61
Figura 39. Granulometria do solo da Vila Secundino	62
Figura 40. Turbidez da água drenada do pátio – experimento 1	67
Figura 41. pH da água drenada do pátio – experimento 1	67
Figura 1A . Curva ABC para o orçamento da Tabela 1A	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas de geração <i>per capita</i> por porte populacional do município	15
Tabela 2. Características do solo para confecção do solo-cimento	30
Tabela 3. Propriedades dos componentes do cimento	32
Tabela 4. Teor de cimento sugerido para o ensaio de compactação do solo cimento	34
Tabela 5. Resultados dos Ensaios de Caracterização das Amostras dos Solos de Viçosa (MG)	35
Tabela 6. Parâmetros e frequência de análises para o composto orgânico dos pátios de compostagem	46
Tabela 7. Parâmetros e frequência de análises para o efluente líquido do pátio de solo cimento	46
Tabela 8. Parâmetros das pilhas de compostagem o experimento 1	50
Tabela 9. Parâmetros das pilhas de compostagem o experimento 2	51
Tabela 10. Metais pesados nas pilhas do pátio de concreto comum	59
Tabela 11. Metais pesados nas pilhas do pátio de solo cimento	59
Tabela 12. Resultados dos Ensaios de Caracterização das amostras de solo da Vila Secundino	61
Tabela 13. Parâmetros do efluente de drenagem superficial do pátio em solo cimento – experimento 1	65
Tabela 14. Parâmetros do efluente de drenagem superficial do pátio em solo cimento – experimento 2	65
Tabela 15. Metais pesados analisados na caixa coletora de águas pluviais – experimento 1	66
Tabela 16. Metais pesados analisados na caixa coletora de águas pluviais – experimento 2	66
Tabela 1A. Orçamento de uma Unidade de Triagem e Compostagem para municípios de até 10.000 habitantes	77
Tabela 1B. Orçamentos ilustrativos de pátios em concreto comum e em solo cimento, em R\$/m <sup>2</sup>	79
Tabela 2B. Orçamento de UTC com pátio em concreto e em solo-cimento	80

## SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES .....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO .....	ix
ABSTRACT.....	xi
SUMÁRIO .....	vii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Considerações gerais .....	1
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo geral .....	4
1.2.2 Objetivos específicos .....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1 Métodos de tratamento e destinação.....	5
2.1.1 Vazadouro a céu aberto (lixão) .....	5
2.1.2 Aterro controlado.....	6
2.1.3 Aterro sanitário .....	7
2.1.4 Unidades de triagem e compostagem.....	8
2.1.5 Incineração.....	12
2.2 Resíduos sólidos no Brasil.....	12
2.3 Resíduos sólidos em Minas Gerais .....	16
2.4 O programa Minas Sem Lixões .....	18
2.5 Compostagem de resíduos sólidos orgânicos .....	20
2.5.1 Fatores que afetam a compostagem.....	22
2.6 Pátio de compostagem .....	27
2.7 Solo-cimento.....	27
2.7.1 Solo .....	29
2.7.2 Cimento .....	30
2.7.3 Utilizações do solo-cimento.....	31
2.7.4 Métodos de dosagem do solo-cimento.....	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 Escolha do solo e análises do solo-cimento .....	35
3.2 Execução do pátio de compostagem em solo-cimento.....	36

3.3	Processo de compostagem .....	44
3.4	Monitoramento da estanqueidade do pátio em solo-cimento.....	47
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1	Avaliação da influência do tipo de pátio no processo de compostagem 48	
4.2	Solo-cimento.....	59
4.3	O pátio de solo-cimento.....	60
4.2	Águas pluviais.....	63
4.3	Orçamento do pátio em solo-cimento .....	64
5.	CONCLUSÕES .....	68
6.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	69
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## RESUMO

NOVAIS, Tiago de Moraes Faria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Execução de um pátio de compostagem em solo-cimento: análises de suas propriedades e influência no processo de compostagem.** Orientadora: Mônica de Abreu Azevedo. Co-Orientadores: Dario Cardoso de Lima, Eduardo Antônio Gomes Marques e Maria Lúcia Calijuri.

Avaliou-se, neste trabalho, a viabilidade de execução de um pátio de compostagem em solo-cimento quanto a sua estanqueidade e de influências no processo de degradação biológica de resíduos sólidos. A redução de custos na execução de Unidades de Triagem e Compostagem (UTC's) é uma necessidade para os municípios com menor capacidade de investimentos. Como o pátio de compostagem representa uma significativa parcela do investimento total de uma obra de UTC, a execução deste pátio em solo-cimento é uma proposta de redução nos custos de execução.

Foi executado um pátio em solo-cimento, analisando a compostagem de material orgânico em sua superfície, comparando os resultados com os obtidos em um pátio de concreto não estrutural. O pátio de solo-cimento foi executado com uma fina camada de argamassa para o aumento de sua vida útil. Todo o pátio foi executado sobre uma estrutura drenante a fim de verificar a estanqueidade do mesmo. Análises de resistência à compressão simples de corpos-de-prova do solo-cimento foram conduzidas assim como análises de pH, sólidos fixos e voláteis, umidade, temperatura, coliformes fecais e metais pesados (Hg, Cu, Cr, Cd, Zn, Pb e Ni) da matéria orgânica utilizada no processo de compostagem. As águas pluviais drenadas pela superfície do pátio foram coletadas e realizadas análises de turbidez, pH, coliformes fecais, temperatura e os metais pesados analisados no material orgânico. Ao final do trabalho, uma estimativa orçamentária foi feita com o intuito de comparar a redução de custos na implantação de uma UTC ao se optar pelo pátio em solo-cimento

Quanto à estanqueidade, o pátio em solo-cimento se mostrou eficiente, não permitindo a infiltração de águas pluviais. Sua resistência à compressão simples se mostrou satisfatória, com 4,9 MPa aos 28 dias de cura. A

compostagem em ambos os pátios foi conduzida durante a fase ativa de degradação para efeitos comparativos do processo. Os custos de implantação do pátio em solo-cimento foram de, aproximadamente, 30,9% menos em relação ao em concreto.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos, pátio de compostagem, solo-cimento, tratamento de resíduos

## ABSTRACT

NOVAIS, Tiago de Morais Faria, M.Sc., Federal University of Viçosa, in July 2011. **Execution of a composting yard in soil-cement: analysis of its properties and influence on the composting process.** Advisor: Mônica de Abreu Azevedo. Co-Advisors: Dario Cardoso de Lima, Eduardo Antônio Gomes Marques e Maria Lúcia Calijuri.

This dissertation evaluated the viability of implementation a soil-cement made composting yard as its capacity of impermeability and its influences on the biological degradation process of municipal waste. The reduction of costs of a Recycling and Composting Plants is a lack to small municipalities on their recycling programs. As the composting yard represents a meaningful quote of investments of Recycling and Composting Plant implementation, this innovation is proposed to minify its costs.

A composting yard was made and an analysis of the composting process of organic matter on its surface was carried out to compare with the same process realized on a conventional non-structural concrete yard. The soil-cement yard was made on top of a draining layer to verify its tightness and covered with a thin daub of cement in order to increase its life cycle and durability. Resistance analysis to compression of soil-cement and parameters of the organic matter to be composted were evaluated as pH, fixed carbon, volatile matter, moisture, temperature, fecal coliform and heavy metals (Hg, Cu, Cr, Cd, Zn, Pb e Ni). Also, the rainwater collected from the yard surface was collected and evaluated as it turbidity, pH, fecal coliform, temperature and heavy metals. At the end of this study, was made a budget to compare the costs reduction of a Recycling and Composting Plant implementation choosing a soil-cement made yard.

About the tightness, the soil cement yard made showed preventing rainwater permeation. Its simple compression resistance was evaluated as satisfactory, with 4,9 MPa by the 28<sup>th</sup> day. The composting processes on both yards were carried out during the active degradation period to compare effects. The costs of implementation of soil-cement yard made were approximately 30,9% lesser than the conventional yard. Considering the total Recycling and

Composting Plant budget, the reduction of costs was about 7,7% of the investment.

**Key-words:** Municipal solid waste, composting yard, soil-cement, waste treatment.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações gerais

A população brasileira vivencia diversos problemas relacionados à falta de estrutura do Estado quanto ao fornecimento de serviços básicos, principalmente no que tange ao saneamento. Estes problemas trazem consigo diversos outros relacionados à saúde pública, evidenciados pelos altos índices de doenças em áreas onde o fornecimento destes serviços se mostra insuficiente ou mesmo inexistente. Dentre os serviços de saneamento, a destinação final de resíduos sólidos se mostra em um panorama preocupante, resultado da falta de políticas de investimento na área.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008 (IBGE, 2010), a disposição final de resíduos sólidos no Brasil apresenta o seguinte panorama: 50,8% dos municípios brasileiros destinam seus resíduos sólidos em vazadores a céu aberto (lixões); 22,5% em aterros controlados e 27,7% em aterros sanitários. Este fato mostra o grau de importância do desenvolvimento de pesquisas e programas de auxílio aos municípios para melhoria deste quadro, uma vez que a incorreta disposição dos resíduos sólidos nos chamados lixões, além de ilegal é também uma forma altamente impactante ao meio ambiente, podendo comprometer o solo, o ar e os corpos hídricos (sejam subterrâneos ou superficiais) do local.

As diferentes formas de disposição final de resíduos sólidos se aplicam de acordo com a realidade técnica e econômica de cada município, sendo o método de aterro sanitário uma alternativa bastante utilizada. Porém, esta técnica possui várias restrições, sendo o custo financeiro a principal, tornando-a uma alternativa inacessível a municípios de menor população e conseqüentemente com uma menor receita orçamentária. Juntamente com os aterros sanitários, as Unidades de Triagem e Compostagem representam formas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

O número de municípios com menos de 20.000 hab. no Brasil ultrapassa a marca dos 70% de acordo com dados do IBGE (2010). Este quadro levanta a necessidade de uma alternativa economicamente viável para estes municípios disporem e tratarem seus resíduos sólidos. Uma forma de tratamento

adequada para estes municípios seriam as Unidades de Triagem e Compostagem (UTC) em conjunto com aterros de rejeitos. As UTC's, além de necessitarem de menores recursos para implantação, propiciam uma redução do volume de resíduos a serem aterrados por meio da triagem (que separa os materiais potencialmente recicláveis, a matéria orgânica e os rejeitos a serem aterrados) e da compostagem (processo de bioxidação aeróbia exotérmica da fração orgânica) que resulta um composto de aplicação agrícola e estável para manipulação e comercialização (BIDONE, 1999).

Em Minas Gerais, atualmente 36,58% dos municípios dispõe seus resíduos sólidos em vazadouros a céu aberto (lixões) e apenas 13,13% dos municípios tratam seus resíduos em UTC's licenciadas. O fato da grande maioria dos municípios mineiros possuir população inferior a 20.000 habitantes evidencia o potencial para reciclagem e compostagem, proporcionados pelas UTC's.

Mesmo sendo uma alternativa de menor custo de implantação, as unidades de triagem e compostagem, para muitos municípios, ainda representam um investimento de alto custo, muitas vezes inviável para muitos municípios que, em sua maioria, possuem seus orçamentos baseados principalmente no FPM (Fundo de Participação dos Municípios) dependendo de financiamentos em nível estadual ou federal para conseguirem melhorar a disposição final de seus resíduos. Com estas dificuldades aliadas à falta de corpo técnico para as gestões municipais na área, os municípios acabam por dispor seus resíduos a céu aberto, representando um problema sério de saúde pública.

Nas UTC's, o item provavelmente mais dispendioso da obra consiste na execução do pátio de compostagem, que de acordo com a NBR 6118/2003, deve apresentar a espessura mínima de 7 cm de concreto e fck de 7 MPa. O pátio de compostagem é a área da unidade destinada para o tratamento biológico da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Os resíduos orgânicos após a separação são dispostos em leiras ou pilhas no pátio de compostagem para tratamento. Dependendo do processo de compostagem empregado, estes resíduos irão permanecer no pátio por um período mínimo de 60 a 90 dias, o que demanda grandes áreas, principalmente se o processo de compostagem adotado for por reviramento manual ou mecânico. Desta

forma, o pátio de compostagem apresenta um custo elevado, representando uma parcela significativa no custo total da obra de uma UTC.

De acordo com dados de projetos e orçamentos de UTC's realizados pelo Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFV (LESA), o pátio de compostagem pode chegar a representar entre 15 e 25% do valor total da obra de uma UTC. Este fato é explicado pelo fato do concreto ser o material empregado na execução do mesmo, por ser um material de propriedades bem conhecidas, como impermeabilização, resistência e fácil acesso no mercado. No anexo A é apresentado o orçamento para uma UTC para um município de até 10.000 hab no qual o pátio de compostagem representa cerca de 23% do custo total da obra. Como visto no anexo A, a curva ABC (ferramenta utilizada na composição de orçamentos, cujo propósito é de apontar os insumos mais significativos da obra) dos custos de implantação de uma UTC mostram o pátio de compostagem na curva A o que, de acordo com Mattos (2006), é a curva que representa os itens mais dispendiosos e conseqüentemente mais sensíveis no orçamento. Ainda de acordo com Mattos (2006), a alteração de itens na região A da curva demonstra reduções significativas no orçamento final da obra.

Como descrito anteriormente, os recursos necessários à implantação de unidades de triagem e compostagem ainda se mostram em patamares acima da capacidade de investimento da grande maioria destes municípios menores. A redução dos custos na implantação destas unidades representa, pra estes municípios, a viabilidade na execução e melhoria na disposição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

O solo-cimento é um material utilizado e pesquisado há várias décadas, principalmente nos Estados Unidos, onde este começou a ser desenvolvido (FERRAZ, 1994). Atualmente, no Brasil, já existem normas e recomendações técnicas tanto quanto à sua utilização, quanto à sua dosagem e métodos de execução. Como o material principal utilizado na confecção do mesmo é um material abundantemente encontrado no meio natural (e de pouco custo) e o percentual de cimento empregado é relativamente baixo, o custo do solo-cimento é bastante inferior ao concreto comum. Sendo assim, seu emprego em pátios de compostagem pode vir a ser uma alternativa interessante. Porém devem ser analisadas suas propriedades como pátio de compostagem, a fim

de não alterar os parâmetros de controle do processo de degradação biológica, se mostrar satisfatoriamente impermeável além de resistir a cargas mecânicas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho de um pátio de compostagem executado com solo-cimento em relação à estanqueidade e a influência no processo de compostagem.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- I) Avaliar a capacidade de impermeabilização e resistência à compressão simples do pátio de compostagem executado em solo-cimento.
- II) Verificar a influência do solo-cimento no desempenho dos processos de compostagem em relação às variáveis que afetam a degradação de resíduos orgânicos.
- III) Caracterizar o efluente líquido coletado no pátio de compostagem a fim de verificar a influência do solo-cimento em sua composição.
- IV) Analisar os custos de execução do pátio em solo-cimento para uma Unidade de Triagem e Compostagem para uma população de 10.000 habitantes.
- V) Propor uma alternativa para execução dos pátios de compostagem em Unidades de Triagem e Compostagem com o uso dos custos do empreendimento e ao controle dos impactos ambientais associados.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Métodos usuais de tratamento e disposição final**

#### **2.1.1 Vazadouro a céu aberto (lixão)**

A disposição dos resíduos sólidos a céu aberto constitui a forma empregada em 50,8% dos municípios brasileiros e 33,8% no estado de Minas Gerais (FEAM, 2011). Neste método, os resíduos são simplesmente dispostos em uma área a céu aberto sem qualquer prévio tratamento ou controle dos impactos ambientais decorrentes, por não possuírem sistema de impermeabilização, drenagem de percolados e gases, drenagem pluviais ou qualquer outro dispositivo de mitigação de impactos ambientais. Desta forma, os lixões, como são comumente denominados, constituem a pior forma de disposição de resíduos sólidos, sendo alvo de políticas públicas para sua erradicação tanto no Brasil quanto no mundo.

O líquido gerado pela degradação anaeróbia dos resíduos sólidos, denominado de chorume, representa um fator de risco para a contaminação principalmente de solos e corpos hídricos. Como no caso dos vazadouros a céu aberto, não há drenagem e tratamento do chorume, há uma potencialização do seu potencial poluidor, podendo atingir, muitas vezes, o lençol freático, uma vez que não há uma impermeabilização do solo onde os resíduos são dispostos.

Da mesma forma, nos vazadouros ou lixões não há coleta e tratamento dos gases gerados pela decomposição anaeróbia dos resíduos. O biogás gerado é rico em metano, altamente impactante ao meio ambiente por constituir-se em um dos gases causadores do efeito estufa. Além deste fato, há o risco de incêndios e explosões relacionados, uma vez que o metano é um gás altamente combustível. Cabe acrescentar a estes problemas o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças que ocorrem nos vazadouros, representando um alto risco para as comunidades próximas ao local.

A questão social é outro grave problema relacionado aos lixões. A presença de catadores nos lixões é certamente uma preocupação corrente

inserida nas políticas públicas para sua erradicação. Sem condições de segurança e higiene, as pessoas que permanecem neste ambiente em busca de sustento são discriminadas socialmente, além de viverem em condições de risco de acidentes e doenças.

A erradicação dos lixões tem ocorrido de forma desigual no país, observa-se, pelos últimos dados da PNSB de 2008, ações mais efetivas nas regiões Sul e Sudeste, o mesmo ocorrendo nas demais regiões do país. Contudo, a disposição dos resíduos sólidos urbanos em vazadouros ou lixões constitui um dos maiores problemas sanitários do país.

### **2.1.2 Aterro controlado**

Com o intuito de mitigar os efeitos e impactos gerados pelos lixões e levando em consideração a dificuldade da implantação de aterros sanitários em municípios de pequeno porte, a legislação ambiental começou a admitir a disposição dos resíduos sólidos urbanos em aterros controlados.

O aterro controlado constitui uma forma mais simples e com menos rigor técnico que o aterro sanitário. O aterro controlado constitui, basicamente, na disposição dos resíduos em valas (ou em plataformas) com recobrimento periódico (que varia de acordo com o volume a ser aterrado), a exigência de cercamento do local, placa de identificação e a designação de um responsável técnico.

Apesar da definição da norma NBR 8849/85, que regulamenta os aterros controlados indicar esta forma de disposição não causa danos ao meio ambiente, pelo exposto no item anterior, fica bastante claro o impacto que este tipo de disposição pode causar, principalmente pelo fato de apresentar, como os lixões/vazadouros, inexistência de drenagem de percolados e gases.

O Conselho de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais (COPAM-MG), órgão normativo, consultivo e deliberativo de políticas, diretrizes e normas para a preservação ambiental em Minas Gerais, regulamentou medidas necessárias à implantação de aterros sanitários por meio da DN 52/2001. A DN 52/2001 convocou os municípios mineiros com população maior que 50.000 habitantes a regularizarem sua situação quanto à disposição final de resíduos sólidos até o ano de 2002. Dentre as medidas que a DN 52/2001 especifica,

podem ser citadas as principais: disposição em solo de baixa permeabilidade, declividade inferior a 30%, distância mínima de 300 m cursos d'água, distância mínima de 500 m de núcleos populacionais, fora da margem de estradas (também de erosões e áreas de preservação), compactação e recobrimento do lixo (no mínimo três vezes por semana), isolamento com cerca e ausência de pessoas com fins de catação de lixo. Estas medidas formam uma tentativa de mitigação do potencial poluidor dos lixões, tendo em vista a erradicação dos mesmos.

### **2.1.3 Aterro sanitário**

Um aterro sanitário é a forma de disposição adequada de resíduos sólidos no solo. É composto por diversos dispositivos/sistemas de controle de poluição ao meio ambiente, especificados pelas NBR 13.896/97 e NBR 8419/92 que estipulam critérios para a execução de projetos e de obras de aterros sanitários. Dentre estes critérios, pode-se destacar:

- Relevo com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
- Existência, no local, de depósito de material com permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm/s e zona saturada com espessura não inferior a 3,0 m;
- Distância mínima de 200m do aterro a qualquer coleção hídrica (a DN 52/2001 do COPAM (MG) é mais rigorosa, especificando a distância mínima de 300 m;
- Vida útil de projeto de 10 anos;
- Distância mínima de 500 m de núcleos populacionais;
- não estar situado em áreas de inundações, com período de recorrência de 100 anos;
- Base das valas do aterro com distância de no mínimo 1,5 m do mais alto nível do lençol freático;
- Coeficiente de permeabilidade do solo da base do aterro inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s
- Cercamento;

- Faixa *non-aedificandi* de no mínimo 10 m de largura ao redor do local do aterro.

Além destas definições e critérios, há a proibição da presença de catadores e animais no local do aterro, a fim de evitar os problemas comumente vistos nos lixões.

#### **2.1.4 Unidades de triagem e compostagem**

As unidades de triagem e compostagem são uma forma de tratamento dos resíduos sólidos urbanos que precede a disposição final. Contudo, há a necessidade de um aterro e compostagem. De acordo com Azevedo e Cruz (2008), uma UTC permite a re-inserção nos processos e ciclos produtivos tanto da fração orgânica quanto dos materiais recicláveis. Além da vantagem da reciclagem quanto à redução na pressão sobre as matérias-primas no processo industrial e o aproveitamento do composto orgânico obtido na compostagem, há a redução do volume de resíduos sólidos a serem aterrados, aumentando sua vida útil e reduzindo a área necessária para as valas/plataformas.

De acordo com Azevedo e Cruz (2008), a estrutura de uma UTC pode ser descrita da seguinte forma:

- a) **Área de recebimento** – local onde são descarregados os resíduos sólidos transportados pelo veículo coletor. Usualmente, este local é composto por uma área coberta com piso de concreto.
- b) **Triagem** – a etapa da triagem é constituída pela separação das frações dos resíduos. Neste processo, a matéria orgânica é separada dos materiais potencialmente recicláveis e rejeitos.
- c) **Pátio de compostagem** – local onde a degradação e estabilização microbiológicas ocorrem na matéria orgânica. Este processo, denominado compostagem, transforma a matéria orgânica em composto orgânico. O pátio de compostagem deve ser

impermeabilizado e possuir sistemas de drenagem de águas pluviais e efluentes.

- d) **Áreas de prensagem e de armazenamento** - são locais cujo processamento de materiais recicláveis se dá por meio da prensagem e enfardamento com o propósito de facilitar seu manuseio, transporte e comercialização. Estas áreas devem ser cobertas com o objetivo de proteção dos materiais contra intempéries.
- e) **Área de estocagem do composto orgânico** – local coberto, com piso impermeável, protegido de intempéries, com o objetivo de estocar o composto orgânico produzido até sua comercialização.
- f) **Unidades de apoio** – escritório, almoxarifado, copa, cozinha, vestiários, guarita de recepção e vigilância e instalações sanitárias.
- g) **Unidade de tratamento de efluentes** – sistema destinado ao tratamento das águas geradas nas unidades da UTC como o pátio de compostagem, aterro de rejeitos e provenientes de instalações hidro-santárias.
- h) **Aterro de rejeito** – local onde é realizada a disposição adequada dos rejeitos dos processos de triagem e compostagem.

O material potencialmente reciclável é então armazenado em baias até o momento onde é possível a execução de fardos para então, ser comercializado. A matéria orgânica é levada ao pátio de compostagem (piso feito de concreto) para o processo de degradação aeróbia ser realizado. Por último, o material incapaz de compostar e que não possui valor econômico para ser reciclado (denominado de rejeito) é levado para ser aterrado.

Um esquema com todo o processo de triagem, compostagem e aterro pode ser visto na Figura 2.



Figura 1. Unidade de Triagem e Compostagem em São Geraldo (MG)

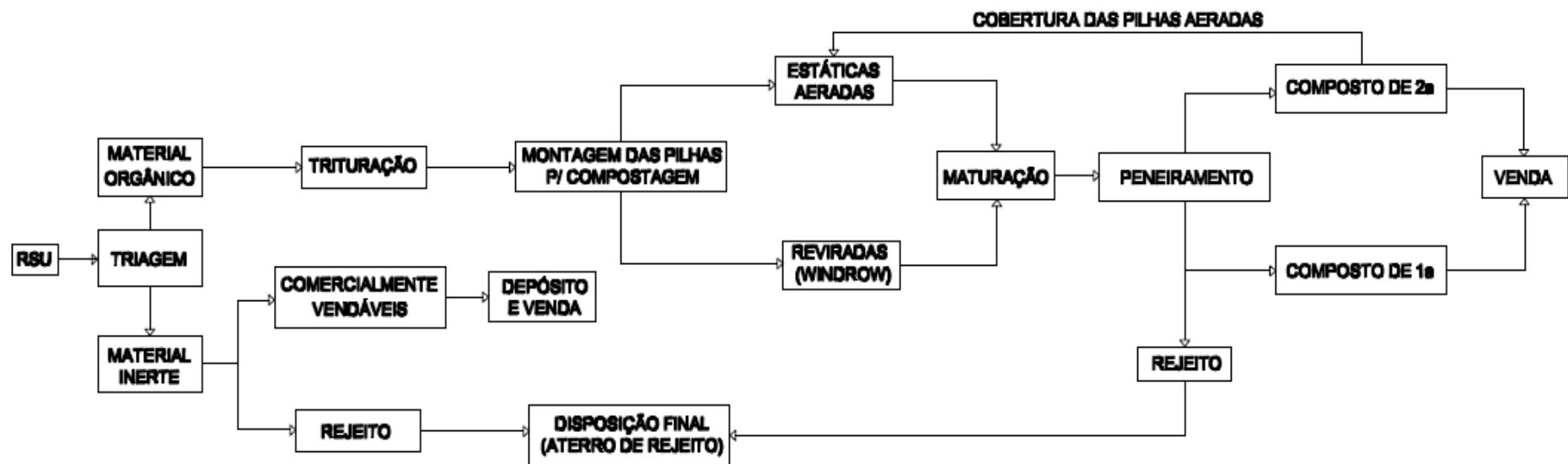


Figura 2. Esquema de funcionamento de UTC's

Adaptado de Azevedo e Cruz (2008)

### **2.1.5 Incineração**

Incineração é o método de tratamento de resíduos sólidos por meio da combustão controlada em temperaturas que variam entre 800°C e 1.200°C (DIAS, 2006). A incineração reduz em até 70% o peso e 90% do volume dos resíduos. Após a queima, as cinzas resultantes são encaminhadas a um aterro sanitário.

A temperatura elevada, atingida na câmara de combustão, elimina organismos patogênicos. Contudo, Lopes (2008) menciona algumas desvantagens do processo de incineração: valor de investimento de duas a três vezes superior aos outros processos, necessidade de constante manutenção e risco de emissões tóxicas na atmosfera.

A capacidade dos incineradores é definida em função da qualidade de resíduo a ser tratado. Sempre que possível deve-se priorizar a operação contínua, a fim de evitar mudanças bruscas de temperatura, o que garante uma maior vida útil dos incineradores (LOPES, 2008).

Devido à alta umidade dos resíduos sólidos gerados no Brasil, às vezes torna-se necessário o uso de combustível fóssil para aumentar a temperatura de queima dos resíduos.

## **2.2 Resíduos sólidos no Brasil**

A situação da coleta, tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil pode ser verificada na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE) realizada em 2000 e 2008. A pesquisa mostra entre diversos temas, a situação de destinação dos resíduos sólidos por municípios e por quantidade gerada. Os resultados apresentados demonstram a necessidade de investimento e melhorias na gestão dos resíduos sólidos.

Em 2000, a situação do país era a seguinte: 63,6% dos municípios dispunham seus resíduos em lixões, 13,8% em aterros sanitários, 18,4% em aterros controlados e 5% em outros. Em relação à quantidade de resíduos destinada, a situação era melhor, uma vez que os grandes geradores (capitais e municípios de maior porte) têm condições de instalar aterros sanitários, resultando no seguinte quadro: 47,1% eram dispostos em aterros sanitários,

22,3% em aterros controlados e 30,5% em lixões. Um aspecto importante a ser considerado na análise dos resultados apresentados da PNSB é a forma de obtenção dos dados. A PNSB foi elaborada por amostragem de municípios, sendo estes os responsáveis pela disponibilização das informações, o que pode acarretar em um panorama pior do que apresentado pela pesquisa.

Na PNSB realizada em 2008, ficou constatada uma significativa melhoria na destinação dos resíduos sólidos no país: 50,8% dos municípios dispõem em lixões; 22,5% em aterros controlados e 27,7% em aterros sanitários. Já em quantidades, o quadro é o seguinte: 17,6% dos resíduos sólidos dispostos em lixões; 15,68% em aterros controlados; 64,6% em aterros sanitários e 2,1% em outras formas de destinação final.

Apesar das melhorias alcançadas, ainda é grande o problema de destinação final de resíduos sólidos no país, que necessita não somente de investimentos, como também de políticas públicas e comprometimento político. A comparação entre as PNSB's realizadas em 2000 e 2008 pode ser verificada nos gráficos das Figuras 3 e 4.

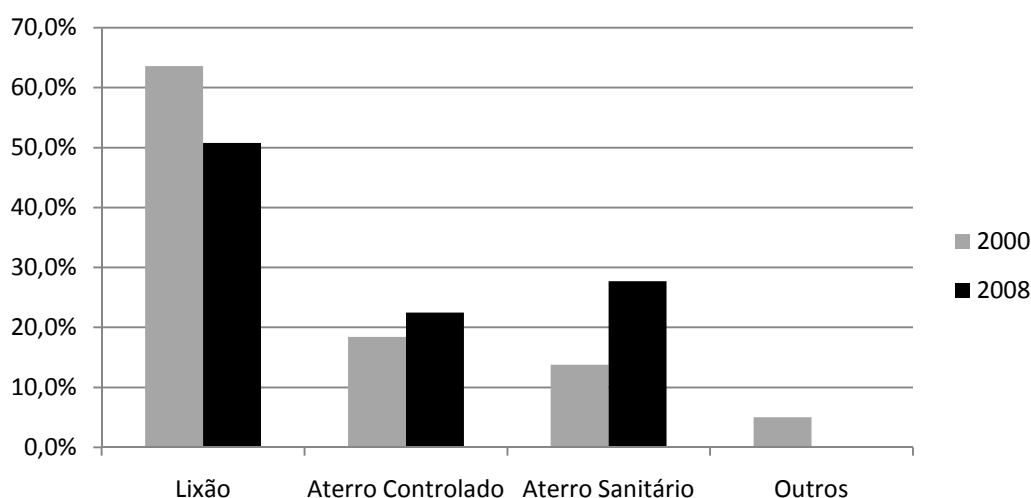


Figura 3. Destinação final de resíduos sólidos no Brasil por municípios

Fonte: IBGE, 2008

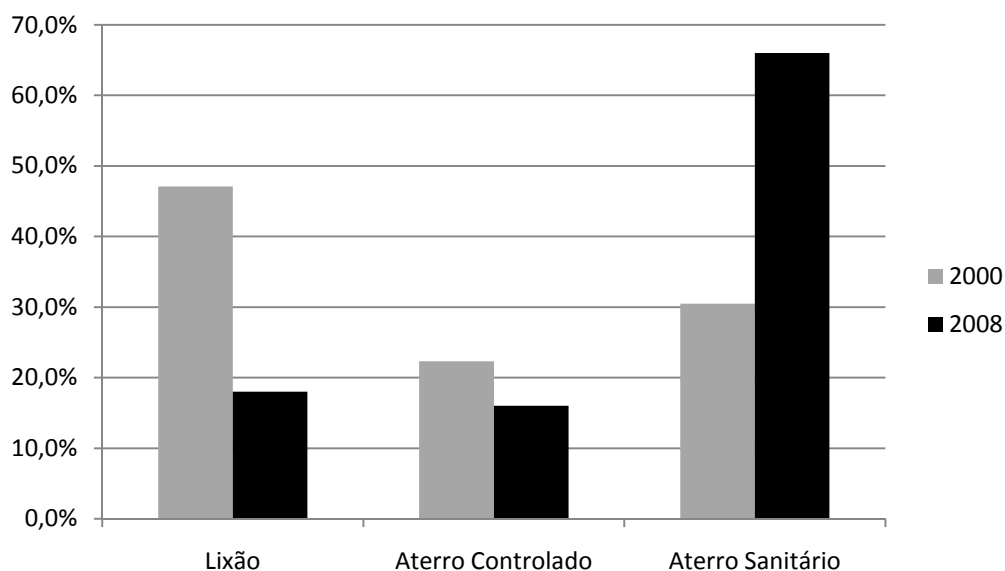


Figura 4. Destinação final de resíduos sólidos no Brasil por quantidade coletada  
 Fonte: IBGE, 2008

Na Figura 5 podem-se analisar as formas de tratamento contempladas na pesquisa no ano de 2008. Apresentam uma baixa expressividade as unidades de triagem e compostagem, representando apenas 0,63% e 1,2% do montante de resíduos coletados e tratados no país.

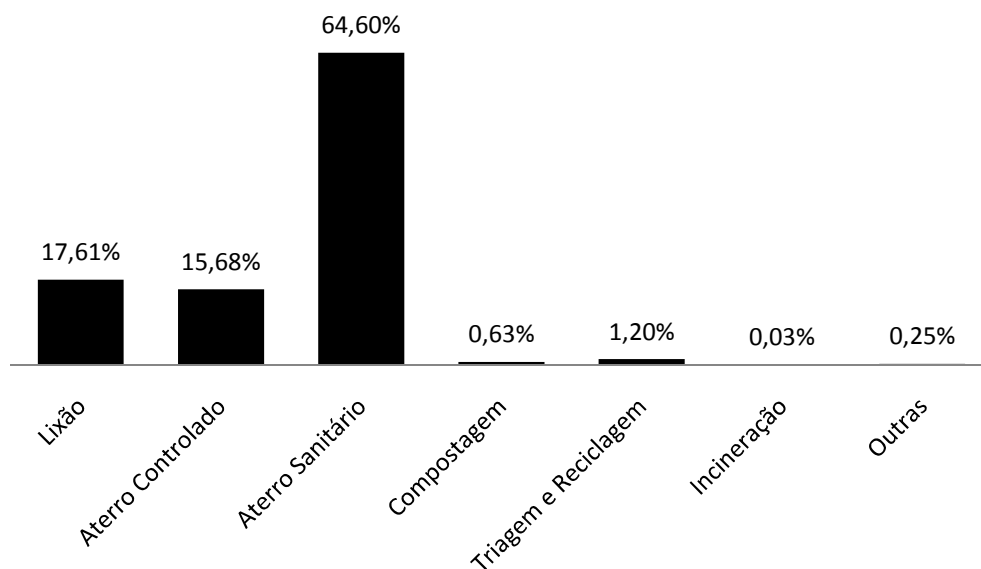


Figura 5. Quantidade de resíduos coletados por forma de tratamento e destinação final  
 Fonte: IBGE, 2008

Segundo dados da PNSB de 2000 e 2008, o Brasil produzia cerca de 228.000 toneladas por dia em 2000 e 260.000 toneladas por dia em 2008. Estes números podem ser inferiores à realidade, uma vez que na pesquisa não estão computados os locais não atendidos pela coleta pública e os que não são de responsabilidade pelo poder público, como os resíduos da produção industrial, dos serviços de saúde, construção civil e outros (LOPES, 2006). A geração de resíduos é influenciada por diversos fatores, dentre eles, o porte populacional do município como visto na Tabela 1, o que ocasiona formas de gerenciamento diferenciadas para cada caso.

Tabela 1 - Faixas de geração *per capita* por porte populacional do município

<b>Tamanho da cidade</b>	<b>População urbana (habitantes)</b>	<b>Geração per capita (Kg/hab.dia)</b>
<b>Pequena</b>	Até 30.000	0,50
<b>Média</b>	De 30.000 a 500.000	De 0,50 a 0,80
<b>Grande</b>	De 500.000 a 5.000.000	De 0,80 a 1,00
<b>Megalópole</b>	Acima de 5.000.000	Acima de 1,00

Fonte: IBAM, 2001

Dados da PNSB de 2008, apresentados na Figura 6, demonstram que cerca de 53,10% dos municípios com até 50.000 habitantes, que representam cerca de 90% dos municípios brasileiros, destinam seus resíduos em lixões.

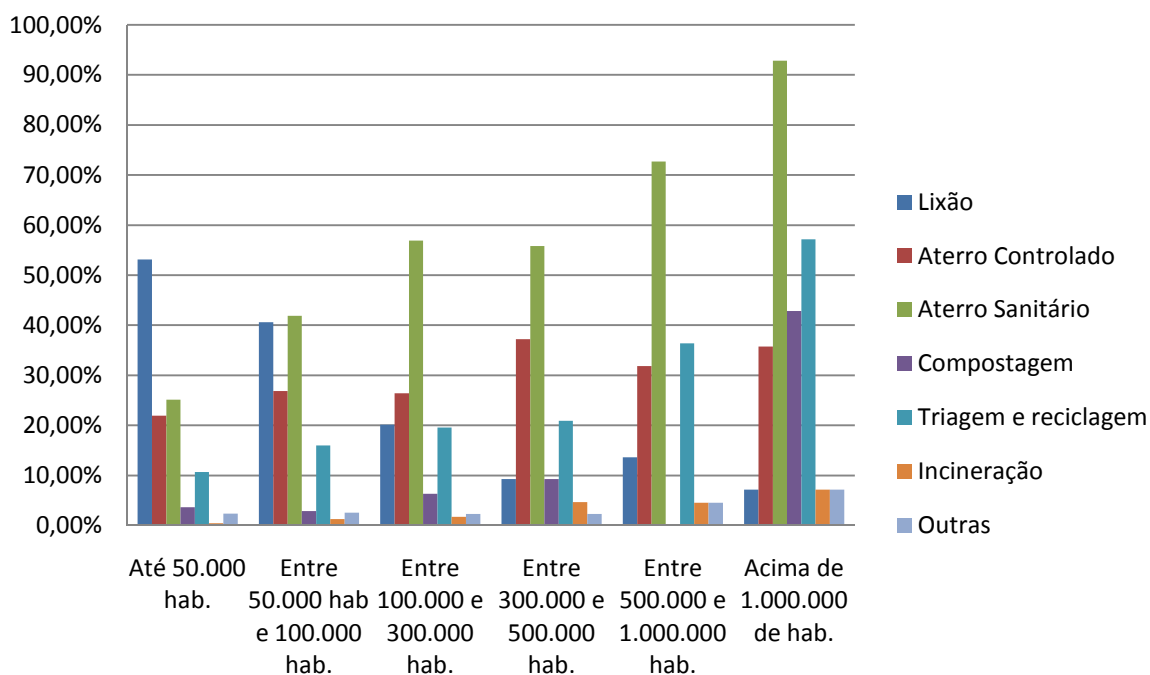


Figura 6. Destinos de resíduos sólidos por faixas populacionais  
 Fonte: IBGE, 2010

### 2.3 Resíduos sólidos em Minas Gerais

Analisando o quadro da destinação dos resíduos sólidos no estado de Minas Gerais, pode-se observar uma situação similar a do restante do país. Em termos de quantidade de resíduos coletados, tratados e dispostos, o estado apresentava o seguinte quadro em 2003 (FEAM, 2010): 66,35% dos municípios dispunham os resíduos em lixões, 21,33% em aterros controlados, 2,94% em aterros sanitários, 6,33% em UTC's com aterro de rejeitos, 2,94% em UTC's não licenciadas e 0,33% em áreas fora do estado de Minas Gerais. Em 2010, o estado demonstrou significativa melhora no quadro de disposição de resíduos, com: 36,6% em lixões; 33,9% em aterros controlados; 6,2% com Autorização Ambiental de Funcionamento (A.A.F.) em verificação; 0,1% em aterros sanitários não regularizados; 0,9% em aterros sanitários em conjunto com UTC; 7,0% em aterros sanitários regularizados; 13,1% em UTC's regularizadas; 1,8% em UTC's não regularizadas e 0,4% fora do estado (FEAM, 2010). Esta melhora pode ser justificada pelo programa Minas Sem Lixões, instituído em 2003, após a Deliberação Normativa do COPAM N°52/2001, que convocou os municípios mineiros a regularizarem suas

situações de disposição. Nas figuras 7 e 8 são ilustrados os dados previamente mencionados.

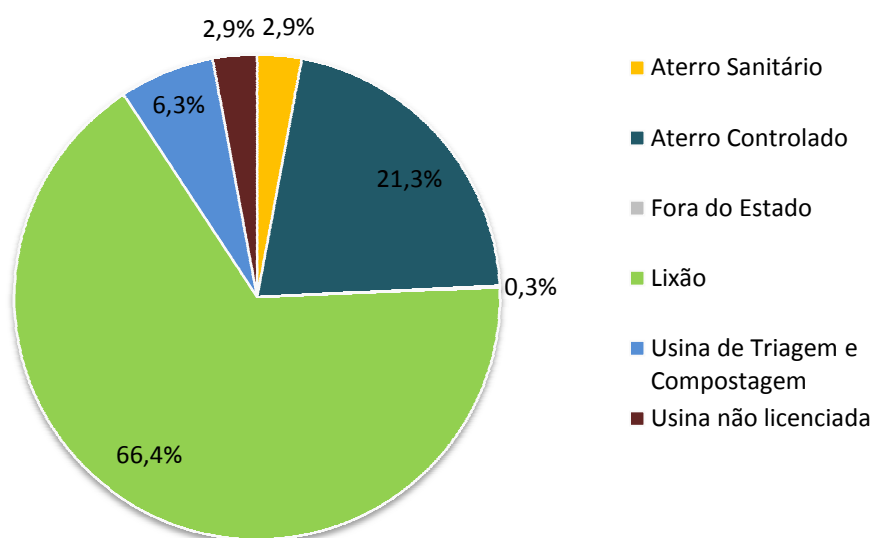


Figura 7. Municípios com disposição final e/ou tratamento de resíduos sólidos por tipo de unidade em 2003

Fonte: FEAM, 2010

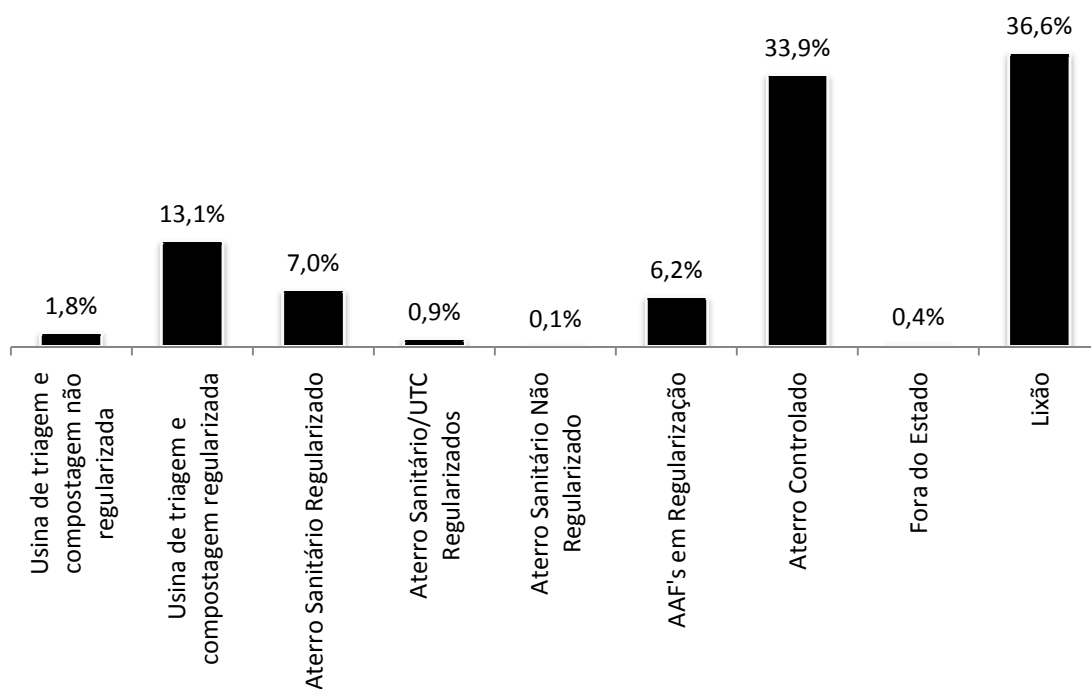


Figura 8. Municípios com disposição final e/ou tratamento de resíduos sólidos por tipo de unidade em 2010

Fonte: FEAM, 2010

## 2.4 O programa Minas Sem Lixões

A situação da destinação final de resíduos sólidos no estado de Minas Gerais até 2003 era precária, com cerca de 66,4% dos municípios dispendo em vazadouros a céu aberto (lixões). Este quadro levou o Governo do Estado de Minas a adotar medidas que revertessem esta situação por meio da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) a fiscalizarem e deliberarem em prol desta necessidade. Os objetivos principais do programa são: erradicação dos lixões em 80% dos municípios mineiros e atendimento de 60% da população com resíduos dispostos em sistemas devidamente licenciados. Ambas as metas com prazo estabelecido de cumprimento para o ano de 2011.

Foi a partir da Deliberação Normativa nº52/2001 do COPAM, que o quadro de disposição começou a ser alterado. Esta deliberação normativa convocava os municípios com população superior a 50.000 habitantes a licenciarem seus sistemas de disposição final de resíduos sólidos e, principalmente, obrigava todos os municípios do estado a minimizarem os impactos ambientais gerados por esta atividade através de medidas que caracterizavam os aterros controlados. São estas medidas previstas na DN Nº 52/2001 (COPAM, 2001):

I - disposição em local com solo e/ou rocha de baixa permeabilidade, com declividade inferior a 30%, boas condições de acesso, a uma distância mínima de 300m de cursos d'água ou qualquer coleção hídrica e de 500m de núcleos populacionais, fora de margens de estradas, de erosões e de áreas de preservação permanente;

II - sistema de drenagem pluvial em todo o terreno de modo a minimizar o ingresso das águas de chuva na massa de lixo aterrado,;

III - compactação e recobrimento do lixo com terra ou entulho, no mínimo, três vezes por semana;

IV - isolamento com cerca complementada por arbustos ou árvores que contribuam para dificultar o acesso de pessoas e animais;

V - proibição da permanência de pessoas no local para fins de catação de lixo;

VI - responsável técnico pela implementação e supervisão das condições de operação do local, com a devida Anotação de Responsabilidade Técnica.

A partir desta DN, outras foram instituídas pelo COPAM a fim de prorrogar os prazos previstos pela DN 52/01 e dar outras atribuições aos municípios mineiros. São estas:

- DN N° 75/2004 - Convoca os municípios com população entre trinta e cinquenta mil habitantes ao licenciamento ambiental de sistema adequado de destinação final de resíduos sólidos urbanos e altera prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM n.º 52, de 14 de dezembro de 2001
- DN N° 92/2006 - Estabelece novos prazos para atendimento das determinações da Deliberação Normativa COPAM n.º 52, de 14 de dezembro de 2001, Deliberação Normativa COPAM n.º 75, de 25 de outubro de 2001 e Deliberação Normativa COPAM n.º 81, de 11 de maio de 2005 e dá outras providências.
- DN N° 105/2006 - Altera prazos estabelecidos pelas Deliberações Normativas COPAM n.º 75, de 20 de outubro de 2004 e n.º 92, de 5 e janeiro de 2006, e dá outras providências
- DN N° 118/2008 - Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências.
- DN N° 119/2008 - Reitera a convocação aos municípios com população urbana acima de 30.000 habitantes, que não cumpriram os prazos estabelecidos na DN 105/2006, a formalizarem processo de licenciamento ambiental para sistema de tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos urbanos e dá outras providências.
- DN N° 126/2008 - Convoca os municípios com população entre vinte e trinta mil habitantes ao licenciamento ambiental de sistemas adequados de tratamento ou destinação final de resíduos sólidos urbanos.

Tendo em vista a dificuldade em atender todos os 853 municípios do estado, a Feam firmou convênios com a Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Viçosa e Fundação Israel Pinheiro, a fim de alcançar as diversas regiões do estado. Tais convênios têm como ação a erradicação dos lixões, realização de projetos de sistemas de tratamento e destinação final de resíduos sólidos e licenciamento destes sistemas.

## 2.5 Compostagem de resíduos sólidos orgânicos

O processo de compostagem é um processo biológico aeróbio e controlado de transformação de resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem (BIDONE, 1999). A compostagem ocorre devido à ação de microrganismos variados que decompõe a matéria orgânica através da quebra de moléculas maiores em compostos estabilizados. Na Figura 9 é descrito, resumidamente, o processo:

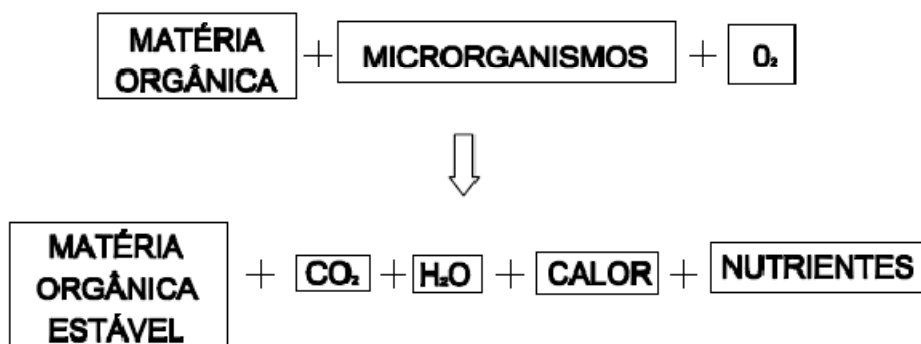


Figura 9. Esquema simplificado do processo compostagem

Adaptado de: FERNANDES & SILVA (1999)

A compostagem ocorre com a presença de diversos grupos de microrganismos que podem ser classificados de acordo com a temperatura em que vivem em: psicrófilos (temperaturas de 10-20°C), mesófilos (de 20-45°C) ou termófilos (de 45-65°C). Várias são as espécies de microrganismos que participam do processo de compostagem, destacando-se as bactérias, fungos, protozoários e actinomicetos (PEREIRA NETO, 2007).

No início do processo, há um forte crescimento dos microrganismos mesófilos. Com a elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população de mesófilos diminui e os microrganismos termófilos proliferam com mais intensidade. A população termófila é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos (FERNANDES & SILVA, 1999).

Quando o substrato orgânico for em sua maior parte transformado, a temperatura diminui, a população termófila se restringe, a atividade biológica global se reduz de maneira significativa e os mesófilos se instalam novamente. Nesta fase, a maioria das moléculas facilmente biodegradáveis foi transformada, o composto apresenta odor agradável e já teve início o processo de humificação, típico da segunda etapa do processo, denominada maturação (FERNANDES & SILVA, 1999).

O processo de compostagem por reviramento manual ou mecânico é caracterizada pela construção de leiras segundo dimensões pré-fixadas e sua umidade corrigida se necessário. Em seguida, a leira é aerada através de reviramentos periódicos, podendo ser mecânicos ou manuais, além da correção da umidade em valores entre 60 e 70% (AZEVEDO, 1993). Esta etapa possui duração, em média, de 60 a 70 dias.

Ao final do período de reviramentos, denominada fase ativa, a leira é desmontada e posta para maturar em pilhas de forma, geralmente, cônica. Após esta maturação, o composto está em condições de ser utilizado.

O processo de compostagem por leiras estáticas aeradas segue basicamente as mesmas etapas do processo por reviramento manual ou mecânico, com a diferença da aeração, realizada por bombeamento de ar.

Na aeração forçada as leiras são montadas sobre uma tubulação perfurada que por sua vez é conectada a uma bomba de ventilação que opera intermitentemente, controlada automaticamente por um temporizador (AZEVEDO, 1993).

Dentre as vantagens do processo por reviramento, está a facilidade de obtenção de mão-de-obra para o reviramento, tornando o processo acessível a menores municípios. Dentre as desvantagens, a principal está no fato da necessidade de grandes áreas para os pátios de compostagem devido ao

espaço necessário para o reviramento, além do controle menos preciso taxa de aeração.

Quanto ao processo por leiras estáticas aeradas, as principais vantagens podem ser: necessidade de menores áreas para o pátio de compostagem, menor mão-de-obra e redução no tempo de compostagem (30 dias de fase ativa), uma vez que o processo possui uma maior homogeneidade de aeração sobre a leira.

## **2.5.1 Fatores que afetam a compostagem**

### **2.5.1.1 Teor de umidade**

Um fator determinante para que a decomposição ocorra de forma adequada é o teor de umidade, uma vez que a atividade microbiológica depende de níveis mínimos de umidade na massa de material orgânico para que esta possa ser degradada de forma satisfatória.

A importância da presença de níveis mínimos de umidade decorre do fato de que todas as reações bioquímicas de oxidação da matéria orgânica ocorrem na fase líquida (AZEVEDO, 1993), pois os nutrientes, antes de serem assimilados pelos microrganismos, são dissolvidos em água.

Altos teores de umidade podem levar a compostagem a condições anaeróbias, gerando os produtos deste tipo de degradação, como odor e um prolongamento do período compostagem. Valores entre 60 e 70% são tidos pela literatura como ideais para o processo de compostagem (AZEVEDO, 1993; BIDONE, 1999; FERNANDES & SILVA, 1999)

Teores de umidade abaixo de 40% tendem a dificultar o processo de compostagem, sendo este valor tido como teor mínimo permissível no processo (AZEVEDO, 1993).

### **2.5.1.2 Oxigenação**

Por ser um processo aeróbio de degradação, a oxigenação é um fator indispensável ao processo de compostagem. Sem o fornecimento adequado de oxigênio, as espécies microbiológicas aeróbias serão afetadas, impedindo o

aumento da temperatura da massa de resíduos até a fase termofílica, o que levará o pH da massa a cair e a condições anaeróbias se desenvolverem (AZEVEDO, 1993).

Os processos aeróbios de decomposição são descritos por Pereira Neto (2007) como mais eficientes que os processos anaeróbios. Tais vantagens do processo aeróbio podem ser descritos como:

- exigência de menor período de compostagem (2 a 3 meses) em contrapartida ao anaeróbio, que pode chegar a 2 anos (AZEVEDO, 1993);
- garantia de temperaturas termofílicas na massa de resíduos, o que propicia a degradação de organismos patogênicos;
- a compostagem devidamente controlada não propicia a formação de chorume e odores.

Segundo Azevedo (1993) o fornecimento de oxigênio à massa de compostagem possui outras vantagens, como o controle do excesso de temperatura, prejudicial aos microrganismos no processo de degradação.

### **2.5.1.3 Temperatura**

A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo de compostagem (FERNANDES & SILVA, 1999), uma vez que a degradação biológica libera calor como produto de seu metabolismo.

No início do processo de compostagem, as bactérias mesofílicas iniciam o processo de degradação do material orgânico, resultando em um rápido aumento na temperatura, atingindo valores entre 40 e 60°C, caracterizando a faixa termofílica (AZEVEDO, 1993).

A fase termofílica possui uma atividade microbiológica mais intensa, aumentando o calor produzido e, conseqüentemente, a temperatura da leira. O controle desta temperatura se dá por meio do reviramento, no caso do processo manual ou mecânico, ou por insuflação de ar quando no caso de aeração forçada. Caso este controle não de efetue de forma satisfatória, a temperatura poderá atingir valores maiores que 75°C, causando a diminuição da atividade microbiológica, segundo Azevedo (1993).

Fernandes e Silva (1999) afirmam que temperaturas próximas a 55°C correspondem a uma maior atividade microbiana, sendo indicada como patamar a ser mantido durante o processo de compostagem. Nesta temperatura elevada, os organismos patogênicos são eliminados, assim como sementes de ervas daninhas e larvas de insetos.

A temperatura permanece em patamares elevados durante a fase ativa, ou seja, nos 60 primeiros dias de degradação, começando a cair até atingir valores próximos ao do ambiente, caracterizando assim a entrada na fase de maturação do processo. Esta queda na temperatura é justificada pela diminuição do substrato disponível para os microrganismos, tornando o calor produzido menor que o calor perdido (AZEVEDO, 1993)

No processo de leiras estáticas aeradas, a temperatura é controlada por meio da aeração, feita por meio de um temporizador, garantindo uma maior distribuição do oxigênio na leira e conseqüentemente uma temperatura mais estável.

Na Figura 10 é mostrada a variação da temperatura na leira ao longo do processo de compostagem e, na Figura 11, a distribuição da temperatura no interior de uma leira.

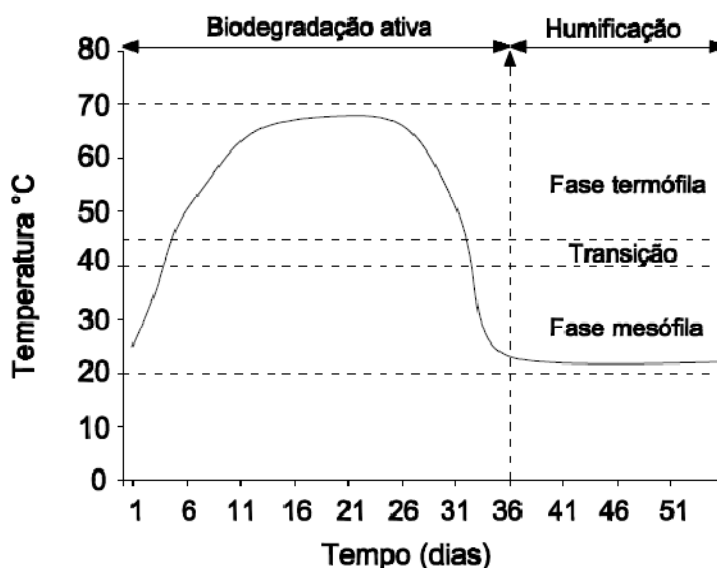


Figura 10. Exemplo da evolução da temperatura de uma leira em compostagem

Fonte: FERNANDES e SILVA (1999)

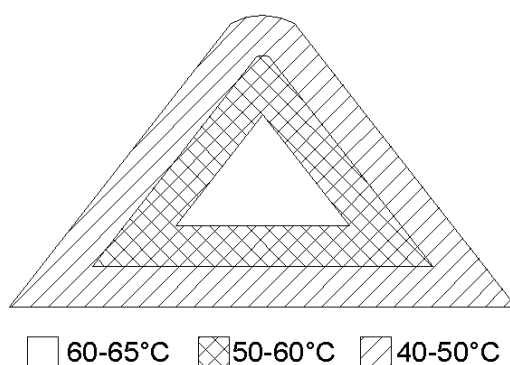


Figura 11. Distribuição de temperatura na leira vista em corte durante a fase termófila

Adaptado de Pereira Neto (2007)

#### 2.5.1.4 Relação carbono/nitrogênio

Os microrganismos utilizam o carbono como fonte de energia para a oxidação metabólica. A oxidação do carbono a dióxido de carbono ocasiona a perda de massa e calor, sendo estas duas características importantes no processo de compostagem. O nitrogênio por sua vez é necessário à síntese celular, por ser o principal constituinte do protoplasma celular (AZEVEDO, 1993).

Com efeito, o carbono é a maior fonte de energia para os microrganismos, porém a sua microbiológica não é total, sendo sua demanda maior que a de nitrogênio. Apesar da grande diferença de demandas, a carência de nitrogênio é limitante no processo, por ser essencial para o crescimento e reprodução celular. Quando parte do carbono disponível é de difícil degradação, como a lignina, celulose e hemicelulose, é aconselhável uma relação C:N maior, pois o carbono orgânico é inferior ao carbono total. (REIS, 2005). Quando há um decréscimo da C:N inicial de 35:1 a 40:1 para uma relação final de 18:1 a 20:1 traduz-se, normalmente, por um avanço no grau de maturação. Por outro lado, se o material a ser degradado for rico em nitrogênio, ou seja, com baixa C:N (10:1 ou inferior), com o avanço da degradação, a relação tende a aumentar devido à volatilização do nitrogênio em forma de amônia, principalmente em altos valores de pH e temperatura. Quando a relação C/N é elevada, ocorre a necessidade por parte dos microrganismos de um maior número de ciclos biológicos vitais para a eliminação do carbono excedente, na forma de dióxido de carbono.

De acordo com Fernandes e Silva (1999), Bidone *et al* (1999), Pereira Neto (2007) e Azevedo (1993), a relação inicial ideal de C/N deve estar situada entre 30:1 e 40:1.

#### **2.5.1.5 pH**

O pH do material a ser degradado não representa um fator crítico para o processo de compostagem, visto a amplitude da faixa tolerada pelos microrganismos (FERNANDES e SILVA, 1999).

Os microrganismos aeróbios possuem um pH ótimo entre 5,5 a 8,0, apesar da compostagem poder ser realizada com valores variando de 3 a 11 (AZEVEDO, 1993; PEREIRA NETO, 1989).

No início do processo, ocorre uma queda no pH devido à formação de ácidos orgânicos intermediários da degradação microbológica (PEREIRA NETO, 2007). Posteriormente, a elevação do pH ocorre como resposta à utilização dos ácidos formados como substrato por uma faixa de microrganismos (AZEVEDO, 1993).

#### **2.5.1.6 Tamanho das partículas**

O tamanho das partículas da massa de compostagem é um importante fator para o processo de degradação, uma vez que menores partículas proporcionam uma maior superfície de contato. A superfície de contato está diretamente ligada à ação dos microrganismos, que irão realizar a oxidação da matéria orgânica com maior velocidade (AZEVEDO, 1993; REIS, 2008).

A correção do tamanho das partículas é realizada antes da montagem da leira, através da trituração. No entanto, apesar do fato de quanto menor as partículas, maior a área de contato, Pereira Neto (1989) cita limites para estes valores, pois um material muito fino acarretará na conseqüente compactação da massa, dificultando a aeração da leira, prejudicial ao processo de degradação.

Bidone *et al* (1999), Azevedo (1993), Pereira Neto (1989), Fernandes e Silva (1999) recomendam valores entre 20 e 50 mm para que o processo ocorra em velocidade de degradação aceitável.

## **2.6 Pátio de compostagem**

O pátio de compostagem em uma usina é o item mais dispendioso na obra de uma UTC, como pode ser visto no anexo A. Esta característica é devida, em grande parte, ao material mais utilizado na confecção do mesmo: o concreto.

O pátio de compostagem necessita principalmente, de ser impermeável e resistente a cargas geradas pela movimentação de equipamentos e veículos utilizados para o despejo ou reviramento do material orgânico a ser compostado.

Devido à impermeabilidade e resistência do concreto serem propriedades bastante conhecidas e estudadas, este material é amplamente utilizado na confecção dos pátios de compostagem.

A execução do pátio de concreto é realizada de forma análoga à execução de pátios comuns de estacionamento e pisos em geral: executa-se a gabaritação do local, seguido do nivelamento do terreno, execução de fôrmas, execução de um fundo de brita seguindo-se à concretagem do pátio. A concretagem é realizada em etapas a fim de permitir a execução de juntas de dilatação, geralmente, a cada 2 m nas direções horizontal e vertical.

Um ponto importante na confecção de pátios de compostagem é a dificuldade de execução sobre aterros. Esta dificuldade se deve à sensibilidade do pátio a trincas, geradas pelo mínimo recalque do solo aterrado que possa ocorrer, uma vez que não há armação no concreto em questão. Esta necessidade de execução sobre cortes de terra ocasiona um maior custo na implantação do pátio, contribuindo com seu elevado custo financeiro.

## **2.7 Solo-cimento**

O solo-cimento é um material obtido por meio da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas, e que, após compactação e cura úmida, resulta em um produto com características de durabilidade e resistência mecânica definidas (ABCP, 1986). O custo de implantação do solo-

cimento se mostra extremamente econômico, uma vez que utiliza como material constituinte o solo, recurso natural abundante.

A aplicação deste material no Brasil teve início em 1940, influenciada pelas experiências bem-sucedidas nos Estados Unidos, onde o solo-cimento era utilizado, principalmente como material de pavimentação (FERRAZ, 1994).

Para LIMA et. al. (1993), o efeito do cimento, nos solos granulares, destina-se, principalmente, a criar ligações nos contatos intergranulares, de modo a garantir um aumento da parcela resistente relativa à coesão. Nos solos finos, os grãos de cimento comportam-se como núcleos, aos quais aderem as partículas que o rodeiam formando regiões de material floculado que apresentam ligações oriundas dos fenômenos de cimentação. Para estes autores, o cimento tem a função de desenvolver uma estrutura capaz de minimizar as variações de umidade do solo, que desenvolvem grandes forças de tração e compressão no interior de massas porosas.

FERRAZ (1994) refere, também, que uma das formas de estabilização com cimento é denominada de solo melhorado com cimento: alguns tipos de solos não podem ser economicamente estabilizados com cimento, por exigirem grandes quantidades desse aditivo para atingirem as características mínimas de resistência e durabilidade, exigidas por normas, para as misturas solo-cimento. Nesses casos, pequenas quantidades de cimento podem ser adicionadas ao solo, com o objetivo de, simplesmente, modificar algumas de suas propriedades físicas, de forma a possibilitar a utilização do mesmo como material de construção de estradas.

Outro ponto importante a se observar é a presença de matéria orgânica e sulfatos no solo, que podem prejudicar o desempenho do solo-cimento. A matéria orgânica afeta a hidratação do cimento, devido à redução do pH do meio, ocasionado pelos ácidos formados na degradação biológica dos compostos orgânicos. Os sulfatos também são nocivos ao concreto, pois reagem com o aluminato tricálcico do cimento hidratado e formam o chamado *sal de Candlot* (sulfoaluminato) que ocupa um volume muito maior que seus componentes formadores, ocorrendo a quebra dos elementos no solo-cimento.

### 2.7.1 Solo

O conjunto de materiais minerais, água, ar, não consolidados, ou seja, constituído por grãos separáveis por processos mecânicos e hidráulicos, e que pode ser escavado com equipamentos comuns de terraplenagem é a denominação de solo de acordo com França (2003) e Castro (2008).

De acordo com Pinto (2000), todos os solos se originam da decomposição de rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre. A decomposição é decorrente de agentes físicos e químicos. Ainda de acordo com o mesmo autor, a presença da fauna e flora promove o ataque químico, através de hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, troca de cátions, carbonatação, etc.

A composição granulométrica dos solos, ou seja, a dimensão das partículas que o compõe, pode ser definida de acordo com a ABNT em: pedregulho (76 a 4,8 mm), areia (4,8 a 0,05 mm), silte (0,05 a 0,002 mm) e argila (menor que 0,002 mm). Os solos são geralmente compostos por mais de uma destas frações mencionadas, onde cada uma destas pode influenciar drasticamente no comportamento do solo (FRANÇA, 2003). Apesar de todas as frações, o comportamento arenoso ou argiloso é, geralmente, a propriedade analisada em diversos estudos (FRANÇA, 2003).

Segundo Lopes (2002), quase todos os tipos de solo podem ser utilizados para tal fim, embora os solos economicamente empregáveis se restrinjam àqueles que necessitem de teores de cimento relativamente baixos para que a execução, em grande escala, seja viabilizada economicamente.

Segundo a norma NBR 8491/84 (ABNT, 1984), o solo a ser utilizado na confecção do tijolo de solo-cimento não deve apresentar matéria orgânica em teores prejudiciais às características exigíveis por esta Norma. De acordo com a NBR 10832 (ABNT, 1989), o solo deve atender às características apresentadas na tabela 2.

Tabela 2. Características do solo para confecção do solo cimento

Característica	Condições (%)
% do solo que passa na peneira ABNT 4,8 mm (nº4)	100
% do solo que passa na peneira ABNT 0,075mm (nº200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Fonte: ABNT. NBR 10.832 (1989, p. 2)

### 2.7.2 Cimento

A ABNT define, na NBR 5732/1991, o cimento comum como:

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos (...)

O processo de fabricação do cimento consiste em moer a matéria-prima, misturá-la em determinadas proporções e submetê-la à queima em forno a elevadas temperaturas (PORTELINHA, 2008). O clínquer, produto obtido na queima, é moído e acrescido de gesso para controle da pega, além de outras adições de acordo com Neville (1997).

A composição do cimento pode ser resumida nos seguintes itens de acordo com Ferraz (1994):

- . silicato tricálcico (ou alita) -  $3CaO.SiO_2$
- . silicato dicálcico (ou belita) -  $2CaO.SiO_2$
- . aluminato tricálcico -  $3CaO.Al_2O_3$
- . ferroaluminato tetracálcico (ou ferrita) -  $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Ainda de acordo com Ferraz (1994) e Mehta e Monteiro (1994), o papel de cada um destes componentes pode ser descrito de acordo com apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades dos componentes do cimento

Componente	Propriedades
$3CaO.SiO_2$	Responsável pelo desenvolvimento da resistência nas idades iniciais e propicia alto desprendimento de calor e libera cerca de 40% em massa de hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ )
$2CaO.SiO_2$	Proporciona o desenvolvimento de resistência em idades mais avançadas com baixa liberação de calor e produz cerca de 18% em massa de hidróxido de cálcio
$3CaO.Al_2O_3$	Reage nos primeiros minutos e ocasiona elevado calor de hidratação, bem como propicia pouco desenvolvimento de resistência e forte retração
$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	Desenvolvimento lento e pequeno de resistência mecânica e boa resistência ao ataque por sulfatos

Fonte: Ferraz (1994) e Metha e Monteiro (1994)

### 2.7.3 Utilizações do solo-cimento

Dentre as diversas formas de utilização do solo-cimento, constituem-se como principais: base e sub-base de pavimentos rodoviários, confecção de tijolos e paredes maciças. Cada finalidade para o solo-cimento constitui em diferentes dosagens e metodologias de execução.

O uso do solo-cimento como base para pavimentação é, talvez, o mais difundido, sendo utilizado no Brasil desde 1939, quando foi construída a estrada Caxambu-Areias, onde desde então, foram construídas cerca de 25.000 Km de estradas com esta solução (CASTRO, 2008).

Ainda de acordo com Castro (2008), pode ser empregado o próprio solo do leito da futura base, misturados no local ou usar solos selecionados. Grande (2003) cita a economia nos custos de implantação como principal característica da mistura solo-cimento assim como a ABCP (1996), que o caracteriza como sendo um material que permite sua aplicação em regiões com escassez de recursos, sejam eles materiais ou humanos.



Figura 12. Execução de base estabilizada com solo-cimento

Fonte: CASTRO, 2008

#### **2.7.4 Métodos de dosagem do solo-cimento**

Várias foram as metodologias desenvolvidas ao longo dos anos para a mistura de solo-cimento. A Portland Cement Association (PCA) realizou diversas pesquisas acerca da dosagem de cimento para a estabilização de solos, a fim de padronizar e potencializar os resultados obtidos. Estas pesquisas resultaram em métodos de ensaio que consistiam na moldagem de corpos-de-prova cilíndricos, seguindo-se a 12 ciclos de molhagem e secagem, assim como 12 ciclos de congelamento e degelo (FERRAZ, 1994)

Com o decorrer dos anos, o processo de dosagem foi sofrendo simplificações, tendo a ABCP, a partir de 1962, a realizar as determinações do teor de cimento após excluir os ensaios de congelamento, uma vez que no Brasil e em países de clima tropical este fenômeno não é significativo (FERRAZ, 1994; PORTELINHA, 2008). Com isto, chegou-se à Norma Geral de Dosagem de Solo-cimento da ABCP ET-35. No entanto, este método ainda apresentava um período de execução relativamente longo, de 40 a 60 dias, requerendo maiores simplificações do processo.

Atualmente, a ABNT adota para a dosagem de solo-cimento a NBR 12.253/92 – Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento. Na referida norma, a ABNT traz uma tabela com a indicação para cada tipo de solo permitido para a utilização como solo-cimento, como mostra a Tabela 4, exigindo-se uma resistência à compressão simples mínima de 21 kgf/cm<sup>2</sup> aos 7 dias de cura da mistura.

Tabela 4. Teor de cimento sugerido para o ensaio de compactação do solo cimento

Classificação do solo, segundo a ASTM D 3282	Teor de cimento sugerido, em massa (%)
A 1-a	5
A 1-b	6
A 2	7
A 3	9
A 4	10

Fonte: ABNT. NBR 12.253 (1992, p. 2)

Dado sugerido (Tabela 4) e citado na NBR 12.253/92 correlacionam os teores de cimento indicado em função do granulometria do solo, no caso, do material menor que 0,05mm e da massa específica aparente seca máxima, como mostrado na Figura 13.

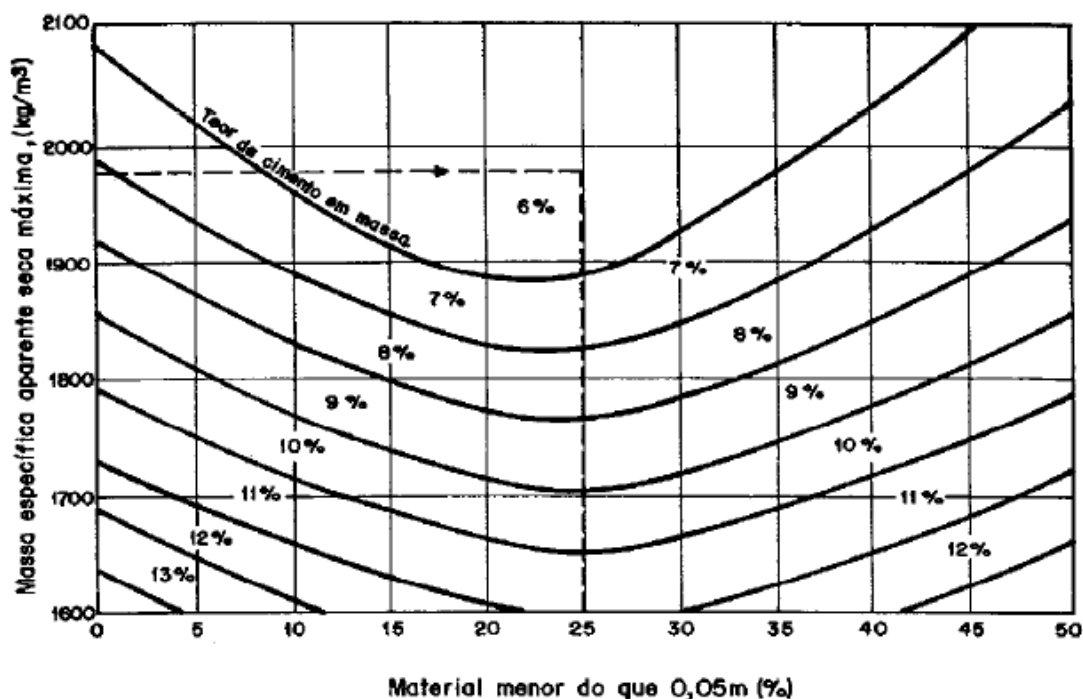


Figura 13. Teor do cimento em massa, para o ensaio de compressão simples, em função da porcentagem de material menor do que 0,05mm dado sob forma de número inteiro

Fonte: ABNT, NBR 12.253 (1992, p. 3)

Ferraz (1994) analisou as propriedades físicas de 4 diferentes solos em Viçosa – MG (Tabela 5), que o levaram a concluir que o mais indicado para a

estabilização com cimento seria o solo da Vila Secundino, na Universidade Federal de Viçosa, considerando-se corpos-de-prova moldados na energia do ensaio de compactação Proctor normal.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Escolha do solo e análises do solo-cimento

De acordo com Ferraz (1994), na região de Viçosa (MG), o solo mais adequado para a utilização no solo-cimento provém de um talude na localidade conhecida como Vila-Secundino, nas dependências da Universidade Federal de Viçosa como é apresentado em detalhe um talude na Figura 14, de onde foi extraído o solo usado neste estudo.



Figura 14. Talude na região da Vila Secundino - UFV

Fonte: TRINDADE *et al* (2008)

Para a caracterização das propriedades do solo e solo-cimento, foram realizados os seguintes testes:

- a) Granulometria;
- b) Massa específica dos grãos do solo;
- c) Limites de Atterberg;
- d) Compactação;
- e) Resistência à compressão simples.

As análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia Civil da Fundação Educacional de Divinópolis/UEMG e seguiram as metodologias de ensaio expressas na NBR 6459/84 (Solo - Determinação do limite de liquidez), NBR 7180/88 (Solo - Determinação do limite de plasticidade), NBR 12.024/92 (Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos), NBR 12.025/92 (Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos), NBR 7181/88 (Solo - Análise granulométrica) e NBR 6508/84 (Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica).

### **3.2 Execução do pátio de compostagem em solo-cimento**

Como protótipo, foi construído um pátio nas dimensões 2,5 m x 4,5 m nas dependências do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O pátio de compostagem em concreto, existente no LESA, foi utilizado para um experimento teste, para fins de comparação do processo proposto com o pátio convencional, uma vez que a execução do pátio seguiu as exigências expressas na NBR 12.254/90 (Execução de sub-base ou base em solo-cimento).

A estrutura descrita pode ser vista na Figura 17. O protótipo foi proposto com o objetivo de avaliar a impermeabilização do solo-cimento como pátio de compostagem, propriedade indispensável a esta estrutura, além de garantir as condições para o processo de degradação.

O pátio em solo-cimento foi executado com as seguintes especificações:

- espessura do pátio de oito centímetros com declividade de 2% em direção ao dreno de águas pluviais disposto em sua extremidade;
- acima do pátio em solo-cimento, foi executada uma camada de 2 cm de argamassa composta por cimento, areia e água;
- abaixo do pátio, foi executada uma estrutura composta por uma camada de três centímetros de brita número dois, que serve como dreno das águas que porventura infiltrarem pelo pátio;
- esta estrutura se apóia em uma camada de concreto, que por sua vez possui declividade de 2% em direção ao dreno inferior disposto na extremidade

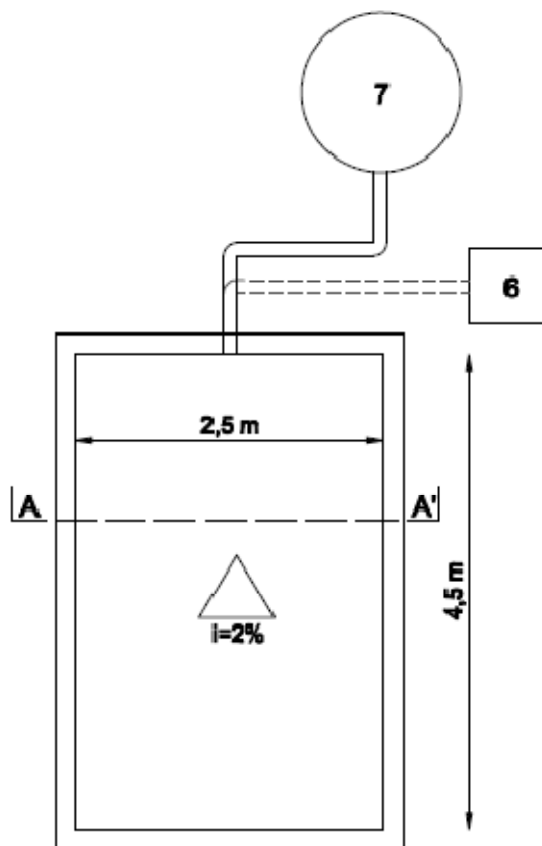
do pátio, com o propósito de drenar os líquidos que porventura vierem a infiltrar;

- caixa subterrânea de concreto com dimensões 30 cm x 30 cm x 15 cm interligada com o dreno inferior para armazenagem de líquidos percolados do pátio de compostagem em solo-cimento;

- caixa coletora de águas pluviais drenadas pela parte superior do pátio, com capacidade para 250 L, a fim de analisar as propriedades de águas contaminadas pelo composto.

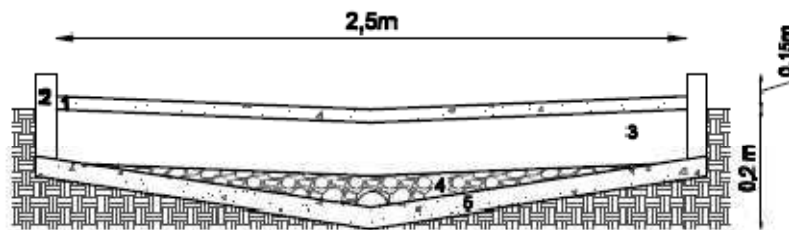
O procedimento de execução do pátio de solo-cimento seguiu as recomendações da DNER-ES305/97 (Pavimentação – Base de Solo-Cimento) e a NBR 12.254/90 -Execução de Base ou Sub-base de Solo-cimento, bem como os resultados encontrados por Ferraz (1994), Castro (2008), Portelinha (2008), Crispim (2007), França (2003), Sant’anna (2003) e Trindade (2008).

Primeiramente, realizou-se a limpeza do local onde o pátio seria executado. Foi feito o nivelamento e gabaritação, como mostrados na Figura 16. Em seguida, foi feita uma camada de concreto como mostrado na Figura 17. Esta base de concreto foi feita com decaimento de acordo com o esquema mostrado na Figura 15, a fim de escoar as águas pluviais que porventura infiltrassem no pátio de solo-cimento.



PLANTA  
SEM ESCALA

- LEGENDA**
1. Camada superior de argamassa (cimento + areia + água)
  2. Bloco de concreto
  3. Solo-cimento com espessura de 8 cm
  4. Camada de brita 2
  5. Camada de concreto (cimento, areia e brita 2)
  6. Caixa coletora de percolado de infiltração
  7. Caixa coletora de águas pluviais superficiais



CORTE A-A'  
SEM ESCALA

Figura 15. Esquema do protótipo do pátio em solo-cimento



Figura 16. Terreno limpo, nivelado e gabaritado para execução da base de concreto



Figura 17. Base de concreto executada e “polida” com cimento

A base de concreto foi contornada com blocos de concreto rejuntados com argamassa de cimento e areia no traço de uma porção de cimento para três porções de areia. Com isso, os blocos foram preenchidos com concreto no intuito de melhorar a resistência, assim como dificultar a entrada de águas pluviais externas ao pátio pelas laterais, conforme mostrado na Figura 18.



Figura 18. Contorno da base com blocos preenchidos com concreto

Em seguida, espalhou-se uma camada de 2 cm de brita nº 2 a fim de drenar a água percolada do pátio caso houvesse infiltração, juntamente com o posicionamento do tubo para condução desta água a uma caixa reservatória. Na Figura 19 é mostrada a execução desta etapa.



Figura 19. Execução de camada de brita 2

Em seguida foi feita a mistura do solo-cimento com a adição de água a fim de obter o teor de umidade ótimo, descrito por Ferraz (1994), e posterior compactação sobre a camada de brita. Como descrito na NBR 12.254 – Execução de sub-base ou base de solo-cimento – o tempo decorrido entre a homogeneização da mistura e adição de água e a execução da compactação não foi superior a 1 hora, tendo em vista o início dos processos de reação do cimento. Nas figuras 20, 21 e 22 são mostrados os detalhes da execução do pátio em solo-cimento.



Figura 20. Compactação do pátio em solo-cimento na energia de compactação do ensaio Proctor normal



Figura 21. Pátio de solo-cimento ao término da execução



Figura 22. Tubos de coleta de águas pluviais do pátio e cama de brita

Como é recomendado pela ABCP no boletim técnico BT-117 (1996), um acabamento superficial é fundamental para se garantir a durabilidade do piso. Para tanto, é necessário uma camada de argamassa de cimento e areia, visando um aumento da resistência ao desgaste mais intenso que pode ocorrer no processo de reviramento das pilhas. Além disso, esta camada de argamassa teve como objetivo uma maior capacidade de estanqueidade do

pátio, elemento indispensável para sua funcionalidade. A execução desta camada é ilustrada na Figura 23.



Figura 23. Execução de camada de argamassa

#### a) Dosagem do solo-cimento

A dosagem do solo-cimento foi realizada tomando-se como base estudos prévios realizados na Universidade Federal de Viçosa, com o solo em estudo, proveniente da região conhecida como Vila Secundino na UFV. Ferraz (1994) realizou diversos traços da mistura para a amostra da Vila Secundino, obtendo resultados satisfatórios de resistência à compressão simples (2,5 MPa aos 7 dias de moldagem) para um teor de 6% de cimento. De acordo com Ferraz (1994) e Lima (1993), para o solo da Vila Secundino, recomenda-se um teor mínimo de 6% de cimento devido ao critério da durabilidade recomendado pela ABCP. Devido às propriedades de expansibilidade, absorção de água e economia na mistura solo-cimento, adotou-se, neste trabalho, o teor de 8%, uma vez que a comparação entre diferentes traços apresenta-se fora do propósito do presente trabalho.

b) Execução do solo-cimento:

Após a escolha do teor de cimento a ser utilizado para a execução, prosseguiu-se com homogeneização da mistura, de forma a obter um material uniforme. Em seguida a adição de água para o início da reação do cimento, foi realizada, seguindo o critério de umidade ótima descrito por Ferraz (1994), que para o solo do experimento e o teor de 8% de cimento, recomenda-se 14% de umidade. Trabalhou-se com os parâmetros de compactação referentes à energia do ensaio Proctor normal, com  $W_{ot}$  de 14% e  $\gamma_{dmax}$  de 18 kN/m<sup>3</sup>

A cura do material foi realizada aspergindo-se água três a quatro vezes ao dia, durante os primeiros 7 dias.

c) Avaliação de custo financeiro dos pátios:

Foi realizado um levantamento quantitativo e análise de custo por m<sup>2</sup> de ambos os pátios, utilizando-se o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), de responsabilidade da Caixa Econômica Federal (CEF) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

### 3.3 Processo de compostagem

O processo de compostagem foi realizado com os resíduos orgânicos obtidos na unidade de triagem e compostagem do município de São Geraldo (MG).

No pátio do LESA, a matéria orgânica foi homogeneizada e repartida em duas frações iguais, que foram utilizadas para a montagem de duas leiras. A primeira leira foi montada no pátio executado com a mistura solo-cimento e a segunda, no pátio de concreto comum pré-existente no laboratório. Esta segunda pilha serviu como comparativo com a primeira pilha para a análise de possíveis interferências no processo. O experimento foi realizado com uma repetição, a fim de verificar a consistência dos dados.

Neste estudo, foi analisada a fase ativa da compostagem, ou seja, os 60 primeiros dias de degradação. Durante este tempo, análises periódicas de

controle da compostagem foram realizadas de acordo com o cronograma apresentado na Tabela 6.

Neste mesmo período, as águas pluviais drenadas pelo pátio executado em solo-cimento foram analisadas de acordo com a frequência descrita na Tabela 6, a fim de verificar a qualidade deste efluente que entra em contato com o composto em degradação.

As análises físico-químicas foram realizadas nas instalações do LESA, enquanto que análises biológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos da UFV. As análises de metais pesados - mercúrio, cobre, zinco, cromo, chumbo, níquel e cádmio – foram realizadas no Laboratório de Matéria Orgânica do Departamento de Solos da UFV.

A compostagem em ambos os pátios pode ser nas Figuras 24 e 25.



Figura 24. Compostagem sendo realizada no pátio em solo-cimento



Figura 25. Compostagem sendo realizada no pátio de concreto comum

Tabela 6. Parâmetros e freqüência de análises para o composto orgânico dos pátios de compostagem

<b>Análise</b>	<b>Freqüência</b>
<b>Umidade</b>	Semanal
<b>Temperatura</b>	Diária
<b>pH</b>	Semanal
<b>Sólidos Fixos</b>	Semanal
<b>Sólidos Voláteis</b>	Semanal
<b>Escherichia coli</b>	Quinzenal
<b>Metais pesados (Hg, Cu, Zn, Cr, Pb, Ni, Cd)</b>	Início e fim do experimento

Tabela 7. Parâmetros e freqüência de análises para o efluente líquido do pátio de solo cimento

<b>Análise</b>	<b>Freqüência</b>
<b>Turbidez</b>	Semanal
<b>Temperatura</b>	Semanal
<b>pH</b>	Semanal

### **3.4 Monitoramento da estanqueidade do pátio em solo-cimento**

O monitoramento da estanqueidade do pátio em solo-cimento se deu mediante a verificação periódica da caixa coletora da drenagem inferior do pátio e medição em volume do líquido drenado.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Avaliação da influência do tipo de pátio no processo de compostagem**

As análises referentes ao processo de compostagem foram realizadas durante a fase ativa de degradação do material, ou seja, nos 60 primeiros dias do processo, para cada experimento. As tabelas 8 e 9 mostram os parâmetros físico-químicos analisados de ambas as pilhas de matéria orgânica, pátio de concreto comum e pátio em solo-cimento.

Para ambas as pilhas do experimento 1 (pátio de concreto e pátio em solo-cimento) foi verificado um período de 28 a 30 dias para que a temperatura atingisse fase termofílica acima de 40°C, conforme pode ser verificado nas Figuras 28 e 30. Este fato pode ser explicado pela alta umidade de ambas as pilhas do experimento 1 (Tabela 8 e Figura 29), ocasionada pelo alto índice pluviométrico verificado nos dias 15/03/2011 e 16/03/2011, quando foi montado o experimento. A partir do 14º dia do experimento, a umidade, sendo corrigida por meio de reviramento e aspersão de água quando necessário atingiu valores dentro da faixa recomendada por Azevedo (1997) e Bidone (1999), entre 60 e 70%. Apesar da correção da umidade, a partir do 42º dia, em ambas as pilhas a umidade atingiu valores abaixo de 50% e atingindo valores mínimos de 40,1% e 40,9%. No entanto, Pereira Neto (2007) e Azevedo (1993) indicam como teor mínimo possível para a compostagem 40% de umidade.

No experimento 2 foi verificado um período de 7 dias para a temperatura atingir valores acima de 40°C, como pode ser verificado nas Figuras 27 e 28, o que pode ser justificado pelo baixo índice pluviométrico na semana de montagem do experimento, de 16/05/2011 a 22/05/2011. A umidade das pilhas neste experimento mostrou-se próxima a valores recomendados para a compostagem logo nos primeiros 7 dias do experimento (entre 60 e 70%). Os menores valores de umidade para o experimento 2 foram de 42% e 44,6% acima do teor mínimo de 40%.

A análise dos sólidos voláteis, feita por meio da calcinação, mostrou valores iniciais de 91,4% e 91,5%, decaindo ao longo do processo e atingindo valores mínimos de 64,9% e 71,8%. A oscilação entre os resultados obtidos ao

longo do processo de degradação pode ser justificada pela metodologia de amostragem com variação apresentada na Tabela 8 e Figuras 32 e 34.

No experimento 2, foram obtidos valores iniciais para sólidos voláteis de 88,6 e 82,6%, decaindo ao longo do fase ativa de degradação e atingindo os valores mínimos de 61,2% e 61,4% ao final do processo. Como pode ser observado, o experimento 2 apresentou uma maior redução dos sólidos voláteis, fato justificado pela menor taxa de umidade ao longo do início do processo, que propiciou uma maior temperatura nos primeiros 14 dias e conseqüente atividade microbiana como visto na Tabela 9 e Figuras 33 e 34.

Tabela 8. Parâmetros das pilhas de compostagem do experimento 1

Dia	Umidade (%)		pH		Sólidos Fixos		Sólidos Voláteis		Coliformes Fecais (NMP/ g)	
	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento
<b>0°</b>	74,16%	73,59%	4,50	4,50	8,59%	8,46%	91,41%	91,54%	< 3	< 3
<b>7°</b>	69,70%	70,79%	4,15	3,95	10,97%	9,17%	89,03%	90,83%	< 3	< 3
<b>14°</b>	60,18%	68,44%	4,50	4,20	28,74%	13,76%	71,26%	86,24%	< 3	< 3
<b>21°</b>	63,24%	71,40%	4,88	4,42	13,39%	14,63%	86,61%	85,37%	< 3	< 3
<b>28°</b>	70,54%	68,04%	5,02	4,93	17,63%	15,68%	82,38%	84,32%	< 3	< 3
<b>35°</b>	59,41%	60,99%	7,45	5,10	25,93%	18,28%	74,07%	81,72%	< 3	< 3
<b>42°</b>	40,10%	48,53%	8,09	6,33	18,21%	20,55%	81,79%	79,45%	< 3	< 3
<b>49°</b>	48,51%	44,32%	8,81	8,97	35,10%	28,22%	64,90%	71,78%	< 3	< 3
<b>56°</b>	48,80%	40,96%	9,00	8,90	27,21%	22,86%	72,79%	77,14%	< 3	< 3

Tabela 9. Parâmetros das pilhas de compostagem do experimento 2

Dia	Umidade (%)		pH		Sólidos Fixos		Sólidos Voláteis		Coliformes Fecais (NMP/ g)	
	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento	Pátio em concreto	Pátio em solo-cimento
<b>0°</b>	65,24%	65,66%	4,60	4,60	11,39%	17,43%	88,61%	82,57%	< 3	< 3
<b>7°</b>	66,14%	63,32%	4,50	4,90	15,04%	15,95%	84,96%	84,05%	< 3	< 3
<b>14°</b>	65,30%	53,99%	4,66	4,75	18,54%	19,01%	81,46%	80,99%	< 3	< 3
<b>21°</b>	59,79%	49,65%	7,60	8,80	26,20%	23,44%	73,80%	76,56%	< 3	< 3
<b>28°</b>	51,51%	44,58%	7,73	9,05	21,66%	31,64%	78,34%	68,36%	< 3	< 3
<b>35°</b>	42,00%	47,20%	8,95	9,31	27,14%	32,25%	72,86%	67,75%	< 3	< 3
<b>42°</b>	47,95%	45,30%	9,13	9,40	33,27%	31,29%	66,73%	68,71%	< 3	< 3
<b>49°</b>	47,29%	49,40%	9,35	9,42	35,23%	34,12%	64,77%	62,35%	< 3	< 3
<b>56°</b>	48,39%	50,10%	9,38	9,50	38,13%	37,45%	61,22%	61,35%	< 3	< 3

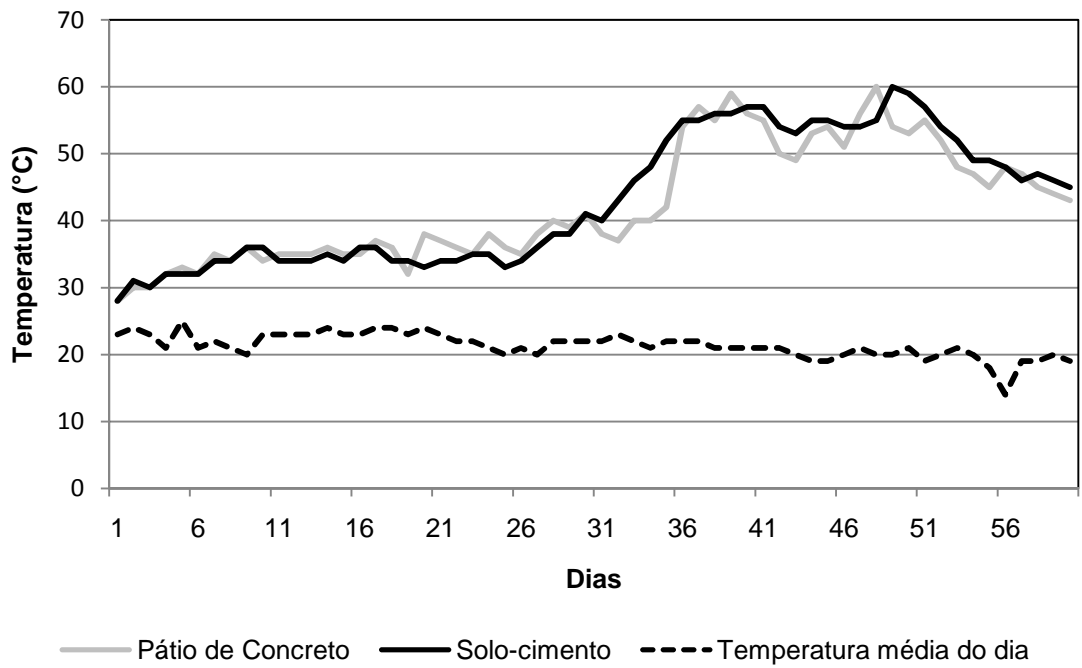


Figura 26. Variação de temperatura em ambos os pátios – experimento 1

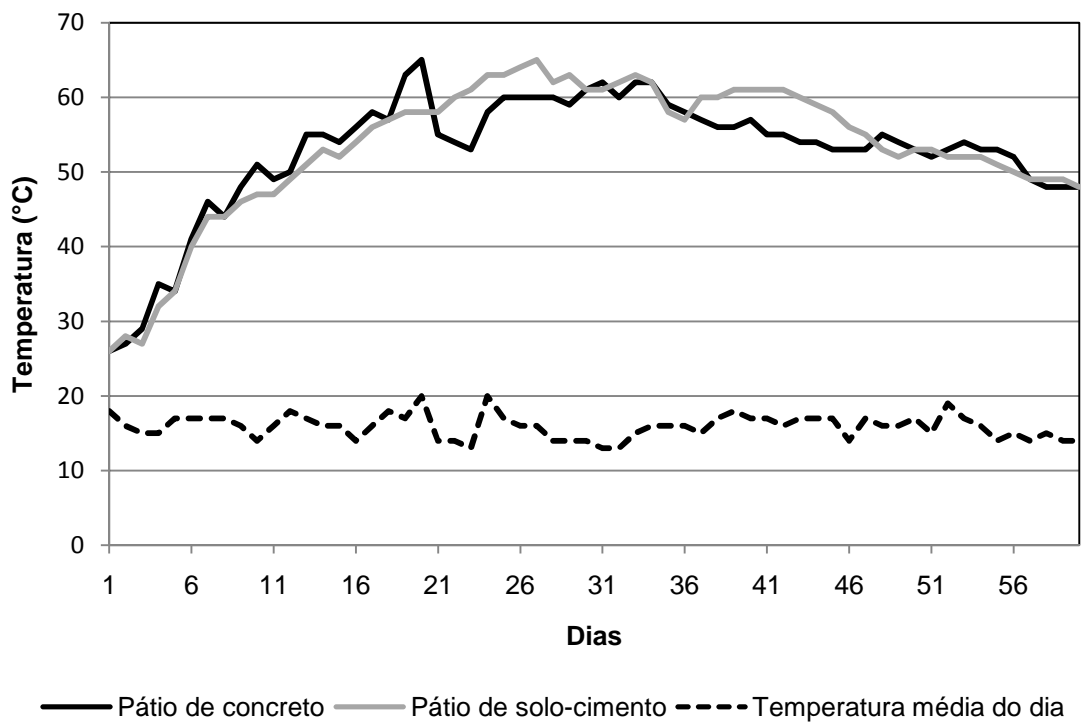


Figura 27. Variação de temperatura em ambos os pátios – experimento 2

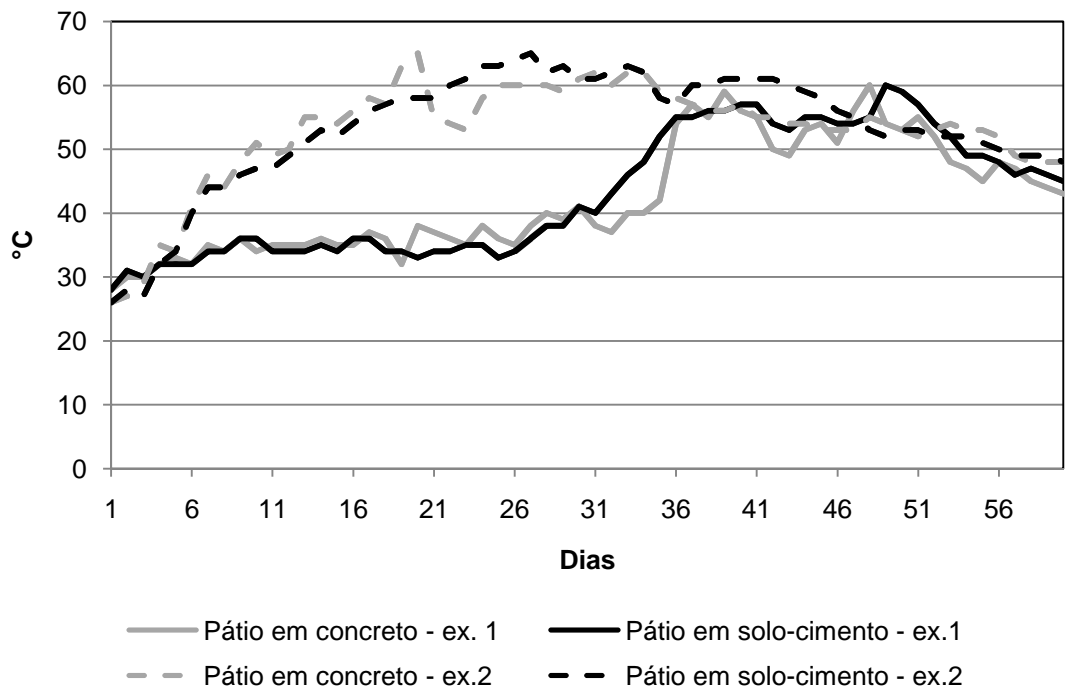


Figura 28. Variação de temperatura em ambos os pátios nos experimentos 1 e 2

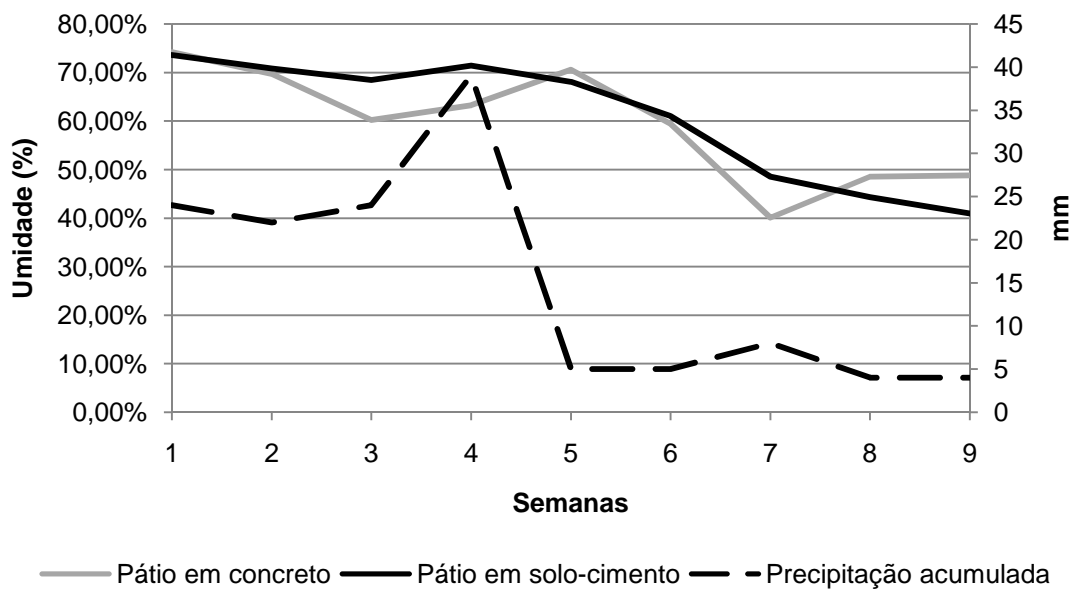


Figura 29. Variação de umidade e precipitação em ambos os pátios – experimento 1

O pH de ambas as pilhas no primeiro experimento mostrou-se em 4,5 no primeiro dia de análise. Os valores de pH no início do processo de compostagem tendem a ser ligeiramente baixos, caracterizando a fase de acidificação nos primeiros dias devido ao acúmulo de ácidos formados por bactérias na degradação dos compostos carbonáceos (AZEVEDO, 1993), demonstrados pelos valores obtidos a partir da 2ª amostragem, no 7º dia, de 4,15 e 3,95 como mostrado na Tabela 8. Deste ponto em diante, o pH elevou-se gradativamente, atingindo, no final do processo de compostagem, um pH 9,0. Nas Figuras 35 e 37 podem ser observadas as variações do pH em ambas as pilhas.

O experimento 2 apresentou um pH inicial de 4,6, próximo ao encontrado no início do experimento 1. Contudo, a queda do pH inicial neste experimento se deu de forma menos acentuada, sendo percebida na pilha de concreto, com o valor de 4,5 aos 7 dias. O aumento no valor do pH se deu continuamente até atingir 9,4 e 9,5 na pilha do pátio em concreto e no pátio em solo-cimento respectivamente. Os dados obtidos podem ser observados na Tabela 9 e Figuras 36 e 37.

Quanto à análise dos metais pesados, esta pode ser realizada comparando-se com valores de referência da norma americana CFR 40, parte 503. Ambos os experimentos demonstraram valores abaixo dos limites impostos pela norma americana para mercúrio, cobre, zinco e cromo. Os valores de níquel e cádmio encontraram-se valores abaixo do limite detectável e o chumbo em valores abaixo do limite quantificável. Nas Tabelas 10 e 11 são demonstrados os valores obtidos em ambas as pilhas nos dois experimentos.

Os resultados obtidos para os metais pesados mostraram-se próximos dos encontrados por Barreira (2006), que avaliou metais pesados em 14 UTC's no estado de São Paulo, obtendo valores inferiores a  $405 \text{ mg.Kg}^{-1}$  para cobre,  $890 \text{ mg.Kg}^{-1}$  para zinco e valores abaixo do limite detectável para níquel e cádmio e abaixo do limite quantificável para chumbo.

As análises de coliformes fecais foram feitas por meio do processo de NMP – Número Mais Provável – não representando valores acima do mínimo detectável ( $< 3 \text{ NMP/g}$ ) para ambas as pilhas nos experimentos 1 e 2. Azevedo (1993) evidenciou uma presença de até  $8 \times 10^2 \text{ col/g}$  em leiras de compostagem de material orgânico.

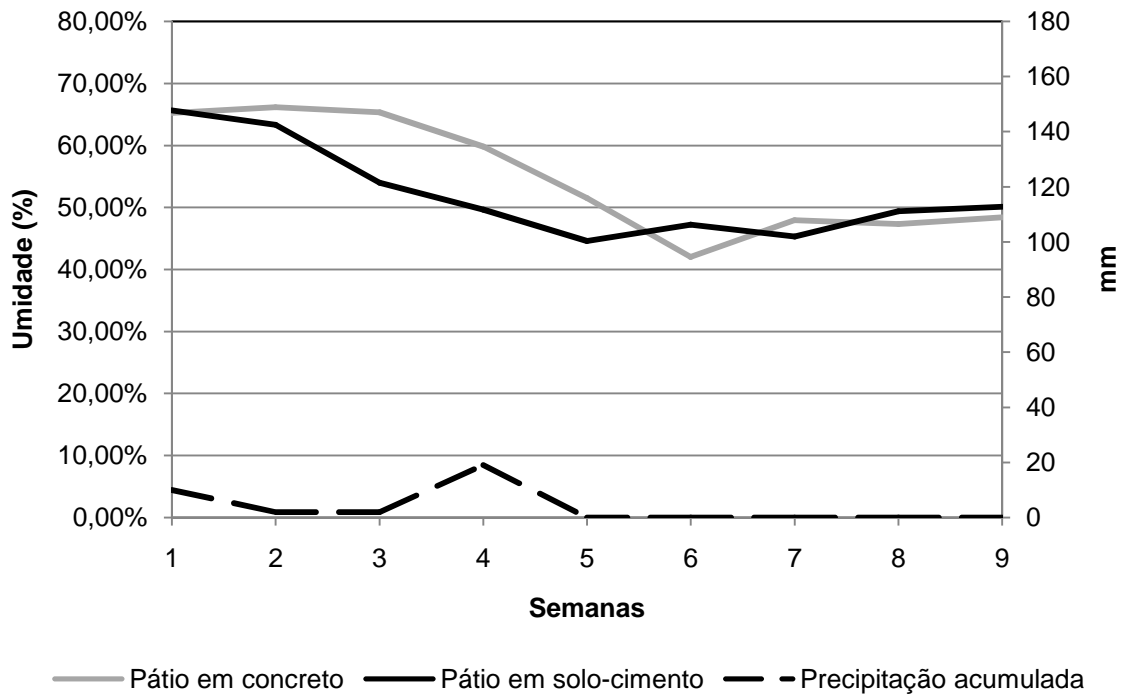


Figura 30. Variação de umidade e precipitação em ambos os pátios – experimento 2

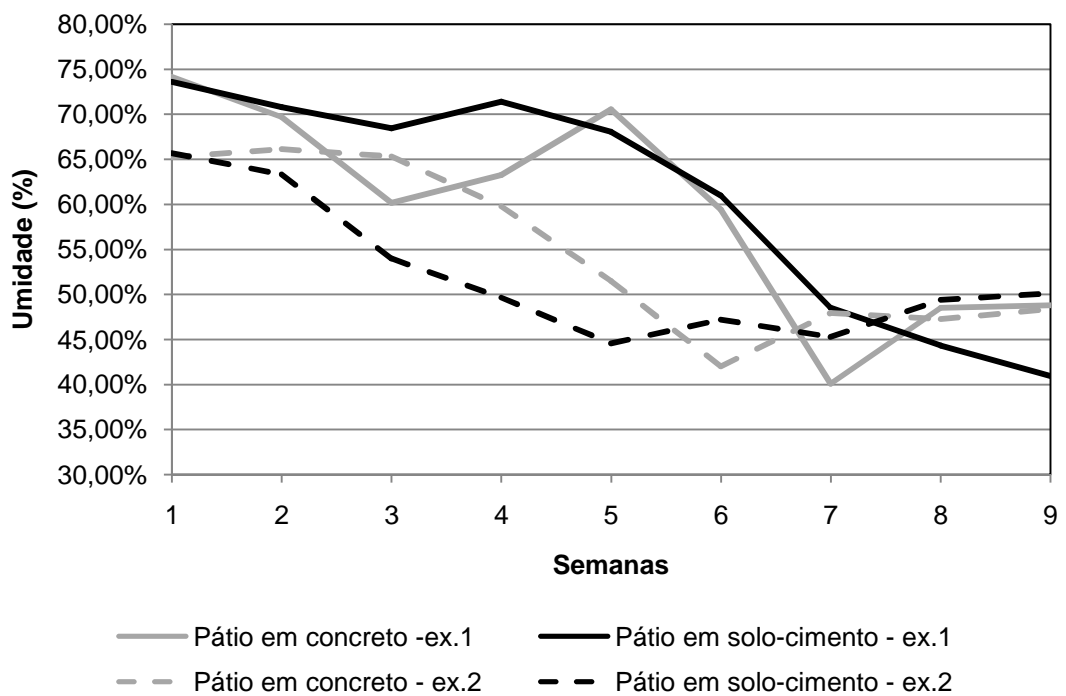


Figura 31. Variação de umidade e precipitação em ambos os pátios para os experimentos 1 e 2

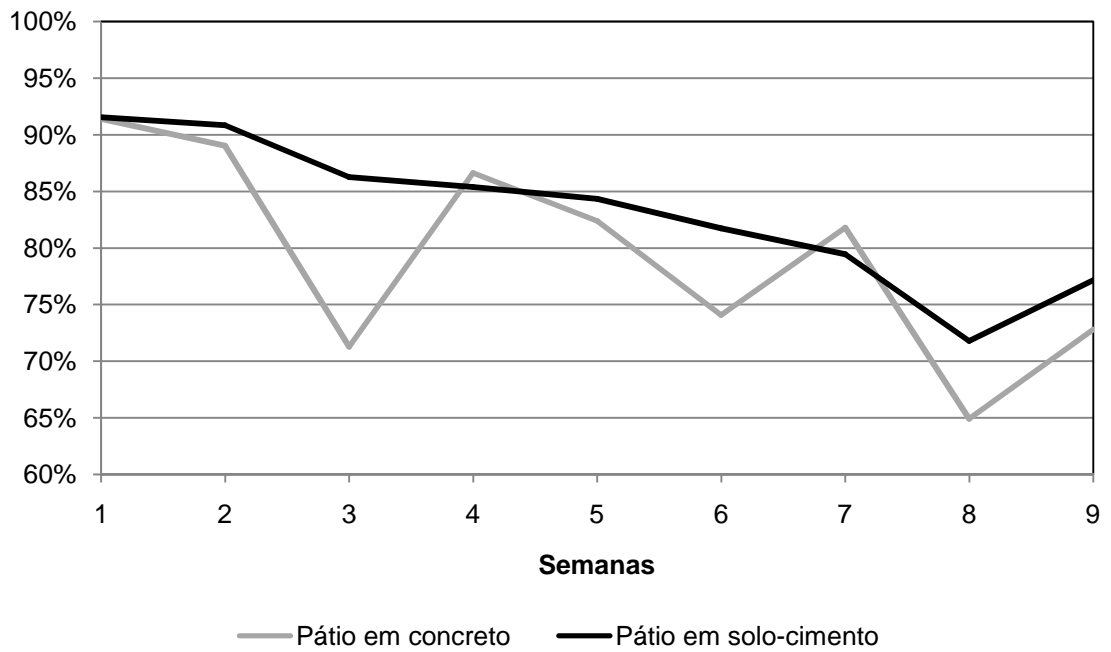


Figura 32. Variação de sólidos voláteis – experimento 1

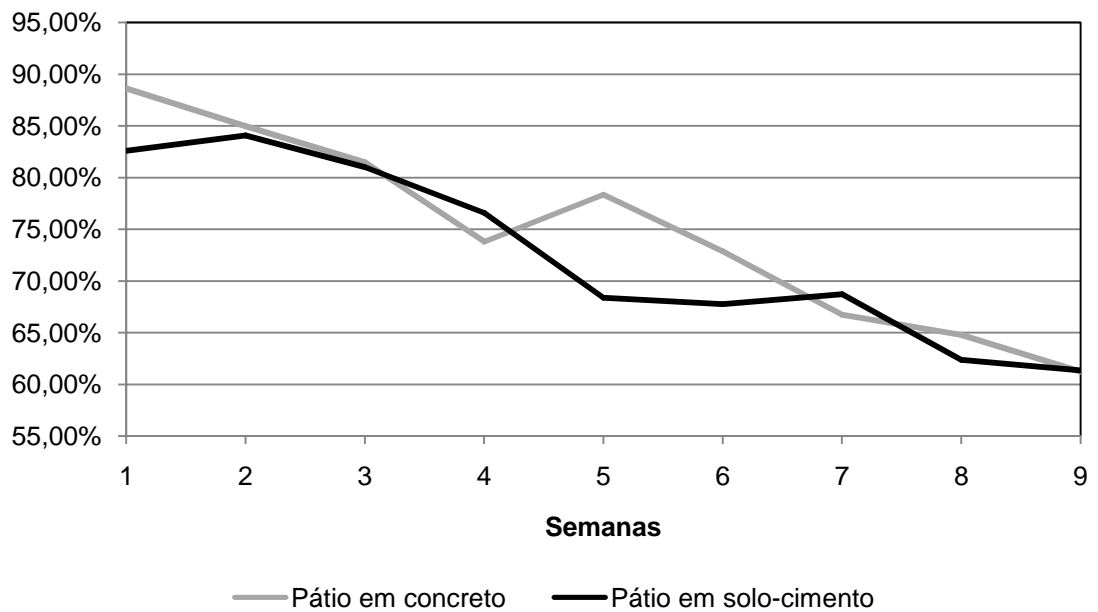


Figura 33. Variação de sólidos voláteis – experimento 2

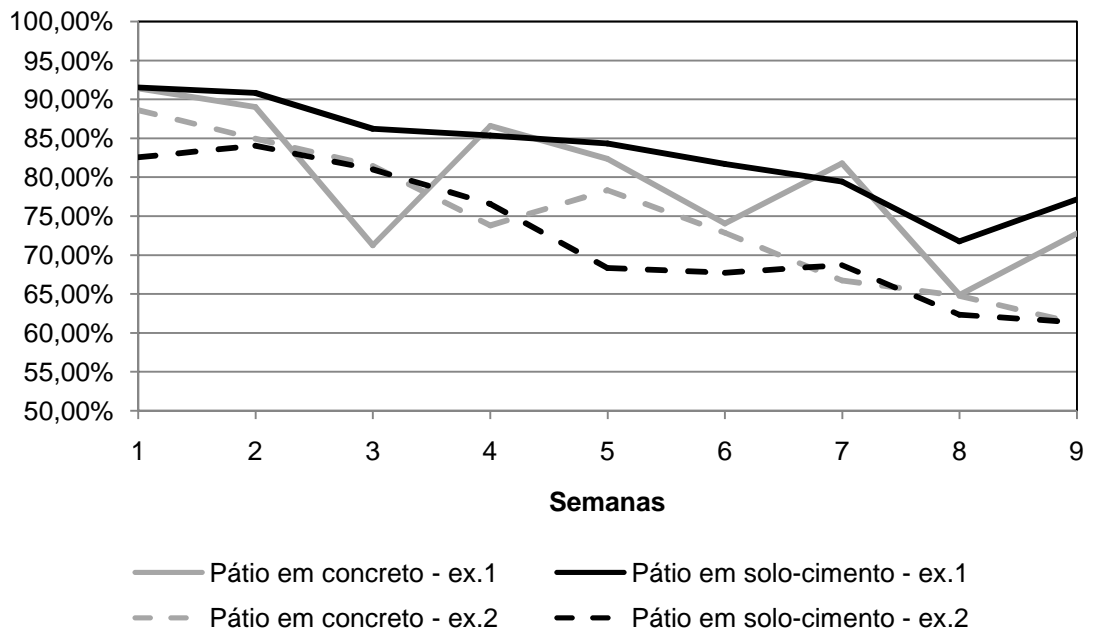


Figura 34. Variação de sólidos voláteis para os experimentos 1 e 2

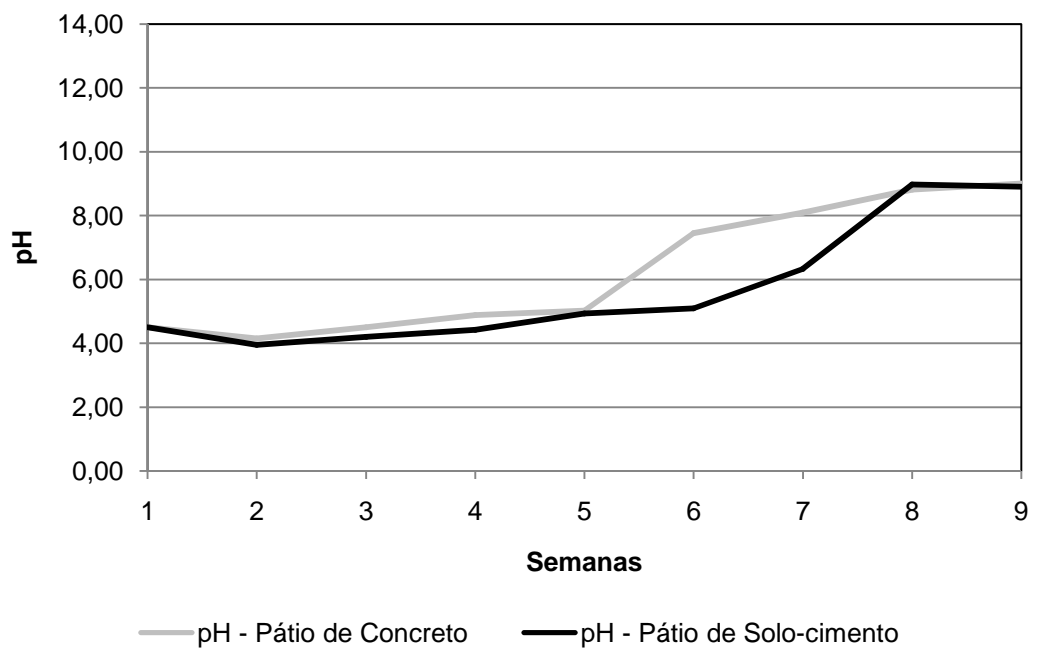


Figura 35. Variação de pH para ambos os pátios – experimento 1

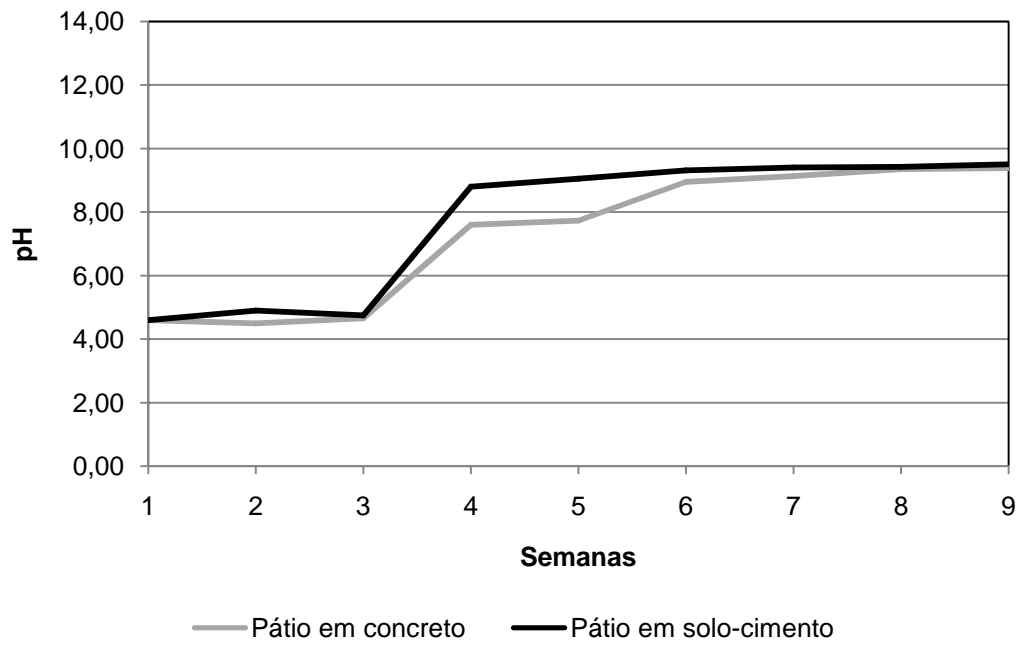


Figura 36. Variação de pH para ambos os pátios – experimento 2

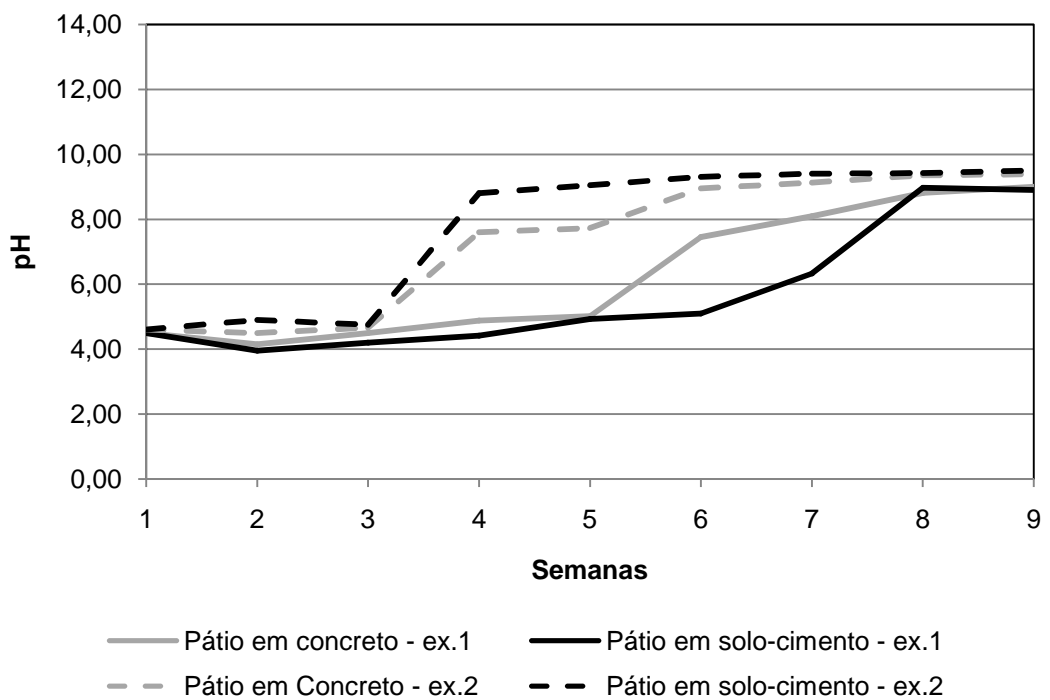


Figura 37. Variação de pH para ambos os pátios – experimentos 1 e 2

Tabela 10. Metais pesados nas pilhas do pátio de concreto comum

	Elementos analisados ( $mg.Kg^{-1}$ )						
	Hg	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	Cd
Experimento 1 – Início	11	85	225	15	< LQ	< LD	< LD
Experimento 1 – Fim	10	83	227	15	< LQ	< LD	< LD
Experimento 2 - Início	13	112	218	17	< LQ	< LD	< LD
Experimento 2 - Fim	14	110	207	19	< LQ	< LD	< LD
Limites EPA	57	4300	7500	3000	840	420	85

LD – Limite de detecção  
LQ – Limite Quantificável

Tabela 11. Metais pesados nas pilhas do pátio de solo-cimento

	Elementos analisados ( $mg.Kg^{-1}$ )						
	Hg	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	Cd
Experimento 1 - Início	13	91	234	11	< LQ	< LD	< LD
Experimento 1 - Fim	14	89	231	11	< LQ	< LD	< LD
Experimento 2 – Início	16	94	201	17	< LQ	< LD	< LD
Experimento 2 - Fim	19	89	198	17	< LQ	< LD	< LD
Limites EPA	57	4300	7500	3000	840	420	85

LD – Limite de detecção  
LQ – Limite Quantificável

## 4.2 Solo-cimento

O ensaio granulométrico, caracterizado pela NBR 7181/84, foi realizado com a amostra de solo da Vila Secundino. Foram caracterizadas as frações do solo, composto por 73% de areia, 22% de silte e 5% de argila. França (2003) obteve, para o solo em estudo, teores de 76% de areia, 17% de silte e 7% de argila, próximo aos valores obtidos nesta pesquisa, classificando-o como A-2-4, de acordo com a classificação da Transportation Research Board (TRB). A curva granulométrica do solo estudado pode ser vista na Figura 41.

A caracterização do solo em estudo levou a obtenção dos valores para o limite de liquidez (LL) de 27% e 18% para o limite de plasticidade. O índice de plasticidade (LP), obtido através da diferença entre LL e LP foi de 9%. Ferraz (1994) e Sant'anna (2002) obtiveram valores próximos aos encontrados neste estudo, com valores entre 27 e 29% para o limite de liquidez e 17 e 19% para o

limite de plasticidade. Na Tabela 12 são apresentados os valores obtidos na caracterização do solo deste estudo.

O valor encontrado para o peso específico dos sólidos ( $\gamma_s$ ) foi de 26,03 KN/m<sup>3</sup>. O peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_{dmax}$ ) encontrado para o solo da Vila Secundino foi 17,88 KN/m<sup>3</sup>, valor este de importância para a dosagem, uma vez que o método de dosagem da mistura solo-cimento se baseia neste parâmetro, de acordo com a NBR 12.253/92.

A umidade ótima ( $W_{ot}$ ) encontrada, obtida através de ensaios descritos na NBR 12.023/90, foi de 13,5%, valor este similar ao obtido por Ferraz (1994) e Fernandes (2000), que encontraram 13,6% e 14,7% como umidade ótima para o solo da Vila Secundino. Este valor de umidade foi utilizado para a execução do pátio em solo-cimento, tendo em vista a compactação máxima do material.

Foram obtidas nos ensaios de resistência à compressão simples, realizados em corpos de prova cilíndricos com imersão, as resistências de 3,6 MPa aos 7 dias de moldagem, e 4,9 MPa aos 28 dias. No ensaio sem a imersão dos corpos de prova foram obtidas as resistências de 3,7 MPa aos 7 dias de cura e 5,1 MPa aos 28 dias como ilustrado na Figura 38. Como a NBR 12.253/92 exige a resistência mínima de 2,1 MPa aos 7 dias de moldagem, os resultados obtidos no estudo foram satisfatórios e comprovam os valores encontrados por Ferraz (1994), de 3,5 MPa (com imersão) e 4,1 MPa (sem imersão) aos 7 dias de moldagem. Tais valores de resistência à compressão simples são suficientes para suportar cargas como, por exemplo de caminhões basculantes, que efetuam, sobre o pátio, cargas inferiores a 1 MPa na superfície de contato dos pneus (ALBANO, 2005).

### **4.3 O pátio de solo-cimento**

A capacidade de escoamento de águas pluviais e impermeabilização são possivelmente as propriedades mais importantes como pátio de compostagem. Para tanto, a análise da infiltração de água por meio da cama de brita inferior mostrou que a combinação entre o solo-cimento e a camada de argamassa oferece uma boa capacidade de retenção de águas pluviais, uma

vez que não foi observado durante todo o experimento o acúmulo de água na caixa destinada à drenagem da parte inferior do pátio.

A verificação do volume de água armazenado na caixa coletora foi realizada diariamente nos períodos de precipitação. O fato analisado do acúmulo inexistente de líquidos infiltrados no pátio leva a crer que sua estanqueidade foi satisfatória ao longo do processo, elemento este indispensável para sua aplicabilidade como pátio de compostagem.

Tabela 12. Resultados dos ensaios de caracterização das amostras de solo da Vila Secundino

Solo Vila Secundino	
LL (%)	27
LP (%)	18
IP (%)	9
$\gamma_s$ (KN/m <sup>3</sup> )	26,03
$W_{ot}$ (KN/m <sup>3</sup> )	13,5
$\gamma_{dmax}$ (KN/m <sup>3</sup> )	17,88
TRB	A-2-4 (0)

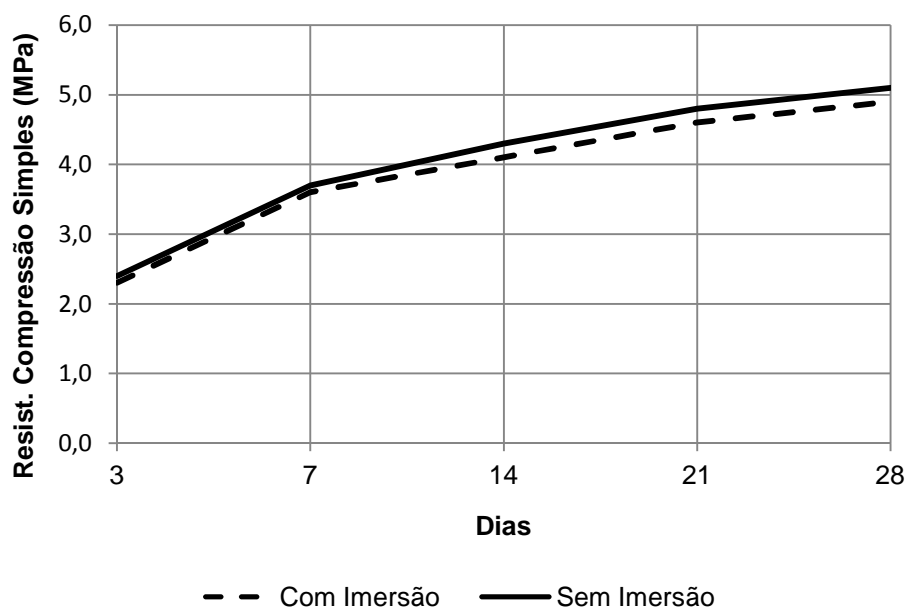


Figura 38. Variação da resistência à compressão simples para o solo cimento com teor de 8% de cimento

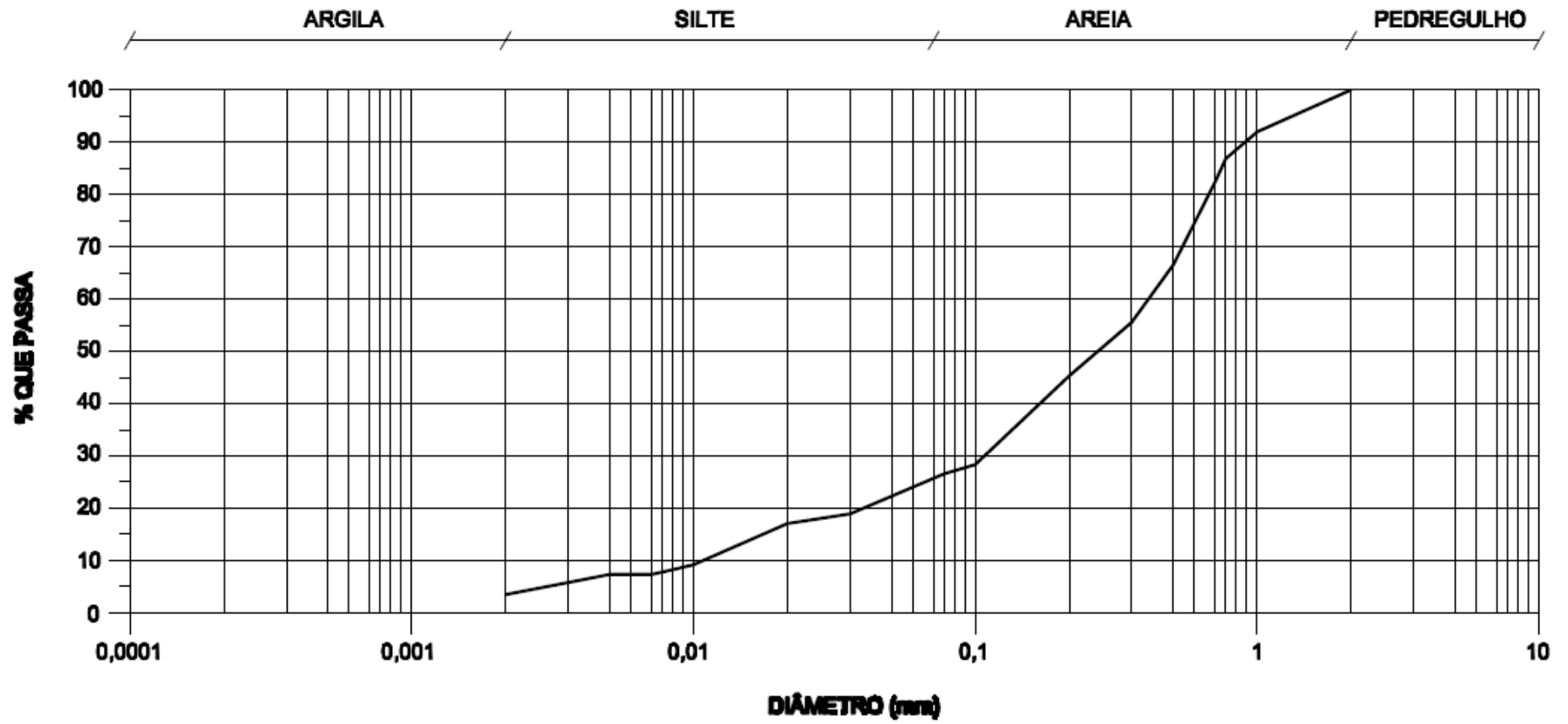


Figura 39. Granulometria do solo da Vila Secundino

## 4.2 Águas pluviais

No experimento 1 houve precipitações suficientes para a análise das águas pluviais drenadas da superfície do pátio em solo-cimento. No experimento 2 foi possível realizar amostragens somente na primeira, segunda e quarta semanas após a montagem do experimento. Os parâmetros analisados podem ser vistos nas Tabelas 13 e 14.

No experimento 1 a turbidez das primeiras águas pluviais coletadas demonstraram um valor de 2.401 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez). Na segunda amostragem, no 7º dia do experimento, foi possível observar uma queda brusca nos valores de turbidez, com 949 NTU. Do 7º dia em diante, os valores foram sendo menores gradativamente até atingir 519 NTU na última análise realizada. Na Figura 40 é mostrada a curva de variação da turbidez no experimento 1.

No experimento 2, a turbidez inicial encontrada foi 2.100 NTU, caindo para 420 na última análise, realizada na quarta semana do experimento.

A análise de pH para as águas pluviais apresentou um valor inicial de 5,41, acompanhando a queda do pH da pilha ao longo dos dias iniciais do experimento, chegando ao valor mínimo de 4,23 na quarta semana. A partir deste ponto, subiu gradativamente, atingindo o máximo valor de 6,10 na oitava semana do experimento. Na Figura 41, a curva da variação de pH no experimento 1 é ilustrada.

Esta variação do pH nas águas pluviais drenadas seguiram, de certa forma, a variação apresentada pelas pilhas de compostagem, as quais seguiram a queda inicial nos valores, no início do processo de degradação, descritos por Pereira Neto (1989).

Os valores de coliformes fecais apresentaram os mesmo valores obtidos para as leiras de compostagem, ou seja, abaixo do limite quantificável, devido ao método de análise laboratorial (< 3 NMP/g), por número mais provável.

A análise de metais pesados mostrou os valores dentro dos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, que impõe valores máximos para efluentes líquidos. No entanto, alguns metais merecem destaque, como o chumbo, mercúrio e cromo, que apresentaram valores elevados em algumas análises no experimento 1, chegando a valores de 0,008

$mg.L^{-1}$  (Hg) e  $0,42 mg.L^{-1}$  (Pb e Cr). Nas Tabelas 15 e 16 são mostrados os resultados obtidos em ambos experimentos.

### 4.3 Orçamento do pátio em solo-cimento

Através da Tabela 1B do Anexo B, pode-se observar uma comparação direta entre os custos de implantação tanto do pátio em concreto comum como em solo-cimento.

O levantamento de custos foi realizado com base nos critérios e projetos realizados no LESA e nos valores encontrados no SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção), que representa um índice de custos médios de cada serviço ou insumo de uma obra em cada um dos estados brasileiros.

De acordo com Mattos (2006), a curva ABC representa uma importante ferramenta para comparação de custos dos itens dentro de uma obra, sendo elaborada neste estudo para os itens de serviços realizados em uma obra de UTC. Ainda de acordo com Mattos (2006), os itens relacionados região A da curva são tidos como os mais sensíveis, capazes de alterarem o orçamento de uma obra de forma mais significativa que os demais itens.

Na curva ABC para um orçamento de uma UTC padrão para um município de até 10.000 habitantes, o pátio de concreto foi tido como o item mais dispendioso, sendo responsável por 24% do custo total de implantação do empreendimento, como visto na Figura 1A.

Com base no SINAPI, o pátio em concreto foi orçado em R\$ 39,45, enquanto que para o pátio em solo-cimento obteve-se o valor de R\$ 27,24, representando assim, uma redução de 30,9% nos custos de implantação desta parte da UTC.

Como proposto pelo estudo e analisado através da composição de custo, chegou-se então a um orçamento total de uma UTC, onde foi obtido, como visto na Tabela 2B, uma redução de 7,7% dos custos ao se adotar o solo-cimento como material componente do pátio de compostagem.

Tabela 13. Parâmetros do efluente de drenagem superficial do pátio em solo cimento – experimento 1

	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Coliformes fecais (NMP/ml)</b>
<b>Semana 1</b>	2401	22,0	5,41	< 3
<b>Semana 2</b>	949	25,1	5,02	< 3
<b>Semana 3</b>	930	25,2	4,34	< 3
<b>Semana 4</b>	925	26,0	4,23	< 3
<b>Semana 5</b>	810	25,8	4,40	< 3
<b>Semana 6</b>	640	22,7	5,10	< 3
<b>Semana 7</b>	601	24,3	5,60	< 3
<b>Semana 8</b>	548	22,0	6,10	< 3
<b>Semana 9</b>	519	23,1	6,00	< 3

Tabela 14. Parâmetros do efluente de drenagem superficial do pátio em solo cimento – experimento 2

	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Coliformes fecais (NMP/ml)</b>
<b>Semana 1</b>	2100	25,3	5,98	< 3
<b>Semana 2</b>	810	24,6	4,67	< 3
<b>Semana 3</b>	-	-	-	-
<b>Semana 4</b>	420	18,6	4,98	< 3-
<b>Semana 5</b>	-	-	-	-
<b>Semana 6</b>	-	-	-	-
<b>Semana 7</b>	-	-	-	-
<b>Semana 8</b>	-	-	-	-
<b>Semana 9</b>	-	-	-	-

Tabela 15. Metais pesados analisados na caixa coletora de águas pluviais – experimento 1

	Elementos analisados ( $mg.L^{-1}$ )						
	Hg	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	Cd
Semana 1	0,004	0,46	1,11	0,42	0,41	0,98	0,14
Semana 2	0,008	0,57	1,34	0,37	0,38	1,21	0,08
Semana 3	0,005	0,38	0,97	0,12	0,29	1,11	0,05
Semana 4	0,009	0,39	1,21	0,12	0,36	1,19	0,08
Semana 5	0,004	0,58	1,34	0,23	0,29	1,23	0,09
Semana 6	0,004	0,41	1,17	0,11	0,31	1,27	0,1
Semana 7	0,003	0,36	1,27	0,11	0,34	1,31	0,12
Semana 8	0,004	0,41	1,16	0,14	0,42	1,16	0,13
Semana 9	0,005	0,38	1,08	0,17	0,14	1,34	0,08
Limites Resolução CONAMA n° 357/05	0,01	1,0	5,0	0,5	0,5	2,0	0,2

LD – Limite de detecção

LQ – Limite Quantificável

Tabela 16. Metais pesados analisados na caixa coletora de águas pluviais – experimento 2

	Elementos analisados ( $mg.L^{-1}$ )						
	Hg	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	Cd
Semana 1	0,0023	0,34	2,01	0,11	0,34	1,11	0,13
Semana 2	0,008	0,46	1,45	0,12	0,19	1,23	0,13
Semana 3							
Semana 4	0,006	0,25	3,45	0,15	0,23	1,46	0,13
Semana 5							
Semana 6							
Semana 7							
Semana 8							
Semana 9							
Limites Resolução CONAMA n° 357/05	0,01	1,0	5,0	0,5	0,5	2,0	0,2

LD – Limite de detecção

LQ – Limite Quantificável

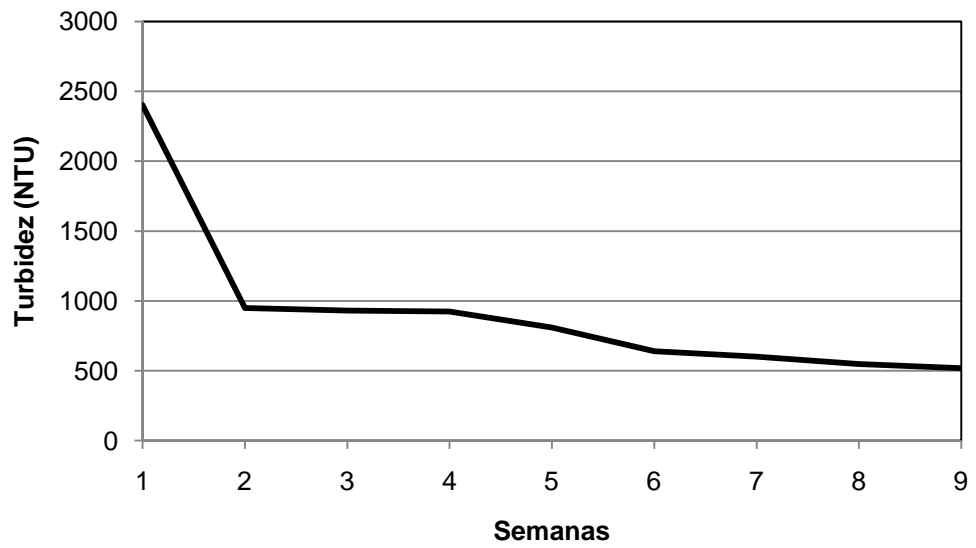


Figura 40. Turbidez da água drenada do pátio – experimento 1

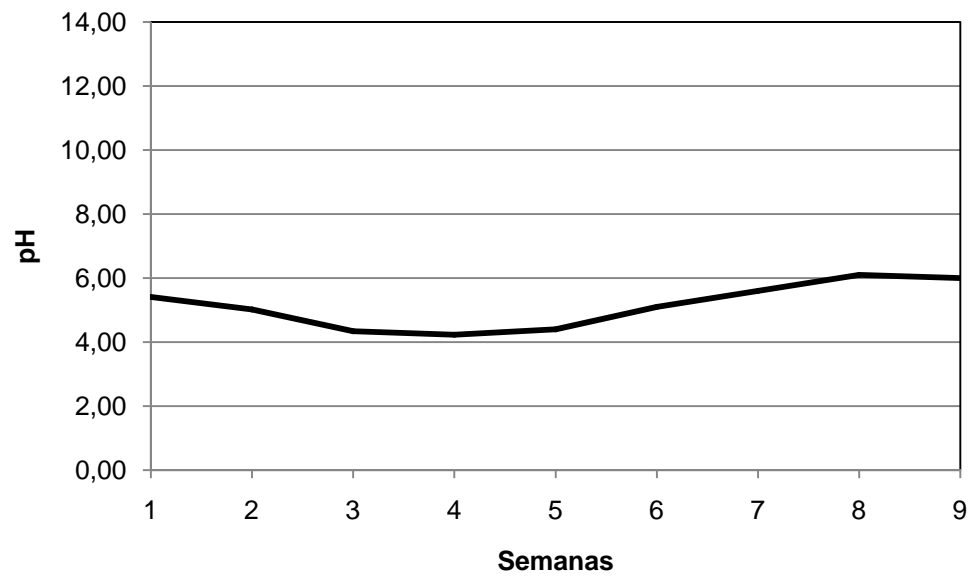


Figura 41. pH da água drenada do pátio – experimento 1

## 5. CONCLUSÕES

O experimento do presente estudo, levou às seguintes conclusões:

- a) a compostagem do experimento 1 foi prejudicada pelo alto índice pluviométrico observado nos primeiros dias da compostagem. Tal índice pluviométrico incidiu no alto teor de umidade em ambas as pilhas, 74,2% no pátio de concreto e 73,6% no pátio de solo-cimento. Estes valores elevados do teor de umidade dificultaram o aumento da temperatura e, conseqüentemente, da atividade dos microrganismos termofílicos, responsáveis pela compostagem do material orgânico;
- b) a compostagem no experimento 2 apresentou variações de temperatura e pH descritas por Azevedo (2003). Temperaturas acima de 40°C foram obtidas em menos de 7 dias de experimento, assim como valores baixos de pH (4,6) no início do processo e elevados (9,5) ao final dos 60 dias;
- c) o processo de compostagem pôde ser realizado de forma satisfatória, quanto a elevação de temperatura e degradação da matéria orgânica no pátio de solo-cimento;
- d) como recomendado pela ABCP (1996), faz-se necessário a execução de uma fina camada de argamassa de cimento e areia para o aumento da vida útil do pátio de compostagem. Sem a execução desta camada, o atrito causado por pás e enxadas utilizadas no reviramento de leiras e pilhas pode ocasionar o desprendimento do material;
- e) a estanqueidade do pátio de compostagem, principal parâmetro analisado e necessário para sua funcionalidade, mostrou-se satisfatória, uma vez que não foi observado, durante o período da pesquisa, volume de líquidos drenados para a caixa coletora da camada drenante inferior do pátio;
- f) as águas pluviais coletadas da superfície do pátio de compostagem levam a concluir que há a necessidade do tratamento destes efluentes gerados nos pátios das UTC's, tendo em vista o pH e

turbidez do material, ocasionado pela solubilização da matéria orgânica das leiras de compostagem;

- g) a escolha do solo é um fator determinante na execução do solo-cimento. No presente estudo, o solo da Vila Secundino utilizado atende aos requisitos da NBR 12.253/92. Porém, solos com granulometria fora dos requisitados pela referida norma podem ser utilizados, desde que corrigida sua granulometria;
- h) é necessário a análise da presença de matéria orgânica no solo, uma vez que, como descrito por Ferraz (1994), a degradação biológica dos compostos presentes na mesma pode levar à expansibilidade do solo-cimento e conseqüente fissura do pátio.
- i) apesar da funcionalidade do pátio em solo-cimento, deve-se ressaltar a importância da dosagem do teor de cimento, realizado por meio da NBR 12.253/92. Cada tipo de solo necessita de teores diferentes de cimento em massa e, portanto, de dosagens específicas para a definição de tal teor;
- j) o grau de compactação é um importante item a ser observado, tendo em vista a funcionalidade e homogeneidade do pátio. Recomenda-se, como descrito por Ferraz (1994), um intervalo máximo de 2 horas entre a mistura da água e a compactação do solo-cimento, a fim de obter melhores resultados, bem como garantir um grau de compactação de 100% em relação à energia do ensaio Proctor normal;
- k) a análise da viabilidade econômica descrita no anexo B mostram a grande vantagem do solo-cimento para sua utilização como pátio de compostagem. O custo do m<sup>2</sup> para o solo-cimento obtido foi de R\$ 27,24 frente aos R\$ 39,45 do concreto. Tal diferença representa uma economia de 30,1%. Em um orçamento de uma UTC, apresentado na Tabela 2B, o custo final da obra utilizando-se o solo-cimento seria de R\$ 161.416,97 contra R\$ 174.847,97 caso utilizado o concreto. Estes valores demonstram uma economia de 7,7% no valor necessário para a execução da UTC. Vale lembrar que os orçamentos em questão foram realizados para municípios de até 10.000 habitantes.

## **6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Apesar dos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que novas pesquisas devem ser realizadas, a fim de prover tecnologias que assegurem melhores desempenhos em UTC's e economia nos custos necessários à sua implantação. Podem ser citados as seguintes recomendações:

- a) utilização de outros materiais para execução do pátio, que atendam à estanqueidade, resistência e economia na sua execução. Materiais que possuam capacidade de resistência de deformações excessivas a fim de obter uma tolerância a recalques dos solos;
- b) condução de estudos mais aprofundados quanto aos parâmetros das águas pluviais, a fim de determinar formas de tratamento adequadas a este tipo de efluente.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, J. F. **Efeitos dos excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos**. 2005, 232 p. Tese (Doutorado em Sistemas de Transporte e Logística), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Dosagem das misturas de Solo-Cimento; Normas de dosagem e métodos de ensaios. Estudo técnico nº35** . 4 ed. São Paulo, 2004. 64 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **O solo-cimento e suas aplicações rurais. Boletim Técnico nº117** . 2. ed. São Paulo, 2004. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.332**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: 1991.5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.732**: Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro: 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.118**: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 170 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: 1984. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: 1984. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: 1988. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: 1988. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro: 1992. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.491**: Tijolo maciço de solo-cimento - Especificação. Rio de Janeiro: 1984. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.849**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro: 1985. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro: 2004. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.023**: Solo-cimento – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro: 1992. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.024**: Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio. Rio de Janeiro: 1992. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.025**: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio. Rio de Janeiro: 1991. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.253**: Solo-cimento – Dosagem para Emprego como Camada de Pavimento. Rio de Janeiro: 1992. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.254**: Execução de Sub-Base ou Base de Solo-Cimento. Rio de Janeiro: 1990. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.555**: Solo-cimento – Determinação da absorção d'água. Rio de Janeiro: 1996. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 1997. 12 p.

AZEVEDO, M. A. **Compostagem de Resíduos Sólidos Orgânicos – Aspectos Teóricos e Operacionais**. DEC/UFV, 1997. 56 p. (Apostila)

AZEVEDO, M. A. **Estudo e avaliação de quatro modos de aeração para sistemas de compostagem em leiras**. 1993. 194 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 1993.

AZEVEDO, M. A.; CRUZ, M.C.C. **Unidades de triagem e Compostagem – Implantação e Operação**. Convênio SEMAD/UFV. Viçosa, 2008. 68 p. (Apostila)

AZEVEDO, M.A. **Gerenciamento de resíduos sólidos**. Departamento de Engenharia Civil, UFV, Viçosa, 1996. 79p.

BARBOSA. L.T. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos no Norte de Minas Gerais: Estudo Relativo à Implantação de Unidades de Reciclagem e Compostagem a partir de 1997**. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2004

BATISTA, I. M. **Comportamento Mecânico de Dois Solos Típicos da Região de Viçosa-MG, para Fins de Utilização em Camadas de Pavimentos Flexíveis**. Viçosa: UFV. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

BERNUCCI, L. B. (et al). **Pavimentação Asfáltica – Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2006. 504 p.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.

BRASIL, Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Insti tui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

CASTRO, S. F. **Incorporação de Resíduos de Caulim em Solo-Cimento para Construções Civas**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2008.

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação Normativa nº52, de 14 de dezembro de 2 001.

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação Normativa nº75, de 25 de outubro de 20 04.

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação Normativa nº92, de 5 de janeiro de 200 6.

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação Normativa nº105, de 18 de novembro de 2006.

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação Normativa nº118, de 1 de julho de 2008 .

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação Normativa nº119, de 1 de julho de 2008 .

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. Deliberação Normativa nº126, de 15 de outubro de 2 008.

CRISPIM, F. A. **Compactação de solos: Influência de métodos e de parâmetros de compactação na estrutura dos solos**. 2007. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

CRISPIM, F. A. **Compactação de solos: influência de métodos e de parâmetros de compactação na estrutura dos solos**. 2007. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. 3ª. Ed. Publicação IPR 719, Rio de Janeiro, RJ: DNIT/IPR, 2006. 274 p.

DIAS, F. P. **A incineração de resíduos sólidos: análise custo benefício do incinerador de resíduos sólidos do P. Sul-DF**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

FEAM, Minas Sem Lixões. Disponível em: <<http://www.feam.br/minas-sem-lixoes>>. Acesso em: 5 jul. 2011.

FERRAZ, F.L. **Contribuição ao estudo da estabilização de solos para fins rodoviários e habitacionais**. 1994. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Ed. PROSAB/FINEP, Rio de Janeiro, RJ, 1999. 84 p.

FRANÇA, F. C. **Estabilização química de solos para fins rodoviários: Estudo de caso com o produto “RBI Grade 81”**. 2003. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

GRANDE, F. M. **Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativa**. 2003. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, SP, 2003.

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB, 2002**

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB, 2010**

LIMA, D. C. et al. **Estabilização de solo II – Técnicas e aplicação a solos da microrregião de Viçosa – MG**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 32 p.

LOPES, L. **Gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos – Alternativas para pequenos municípios**. 2006. 110 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006.

LOPES, V. S. A. **Estudo comparativo de alternativas para o tratamento dos resíduos de saúde: incineração e desinfecção térmica**. 2008. 122 p. Dissertação (Mestrado em Processos Químicos e Meio Ambiente) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. 2002. 158 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, 2002.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para o orçamentista, estudos de caso, exemplos**. 1<sup>o</sup> ed. São Paulo: Pini, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo, SP: Editora PINI, 1994. 573 p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo, SP: Editora PINI, 1997. 61 p.

PCA – PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Soil-Cement Laboratory Handbook**. Chicago, 63p, 1956.

PELLEGRINO, S.A.C. **Gestão de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: sistematização de diretrizes e procedimentos**. 2003. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2003

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 61 p.

PEREIRA NETO, J.T. **Gerenciamento do Lixo Urbano: aspectos técnicos e operacionais**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 129 p.

PEREIRA, S.C.M. **Desenvolvimento de uma sistemática de ação para elaboração de planos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos domiciliares – Estudo de caso de Viçosa (MG)**. 2007. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Globo, 1995 - 13<sup>a</sup> Ed., 307 p.

PINTO, T. P. **Caracterização tecnológica de três solos residuais estabilizados quimicamente com vistas a aplicações em geotecnia rodoviária e ambiental**. 2000. 254 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000

PORTELINHA, F. H. M. **Efeitos da cal e do cimento na modificação dos solos para fins rodoviários: mecanismos de reação, parâmetros de caracterização geotécnica e resistência mecânica**. 2008. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 239 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

SANT'ANNA, G. L. **Módulo de resiliência de misturas solo-alcatrão, solo-cal-alcatrão e solo-cimento-alcatrão para pavimentação de estradas florestais**. 2002. 124 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

TRINDADE, T. P. da. **Caracterização tecnológica de três solos residuais estabilizados quimicamente com vistas a aplicações em geotecnia rodoviária e ambiental**. 2006.254 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

TRINDADE, T. P. et al. **Compactação dos solos: fundamentos teóricos e práticos**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 95 p.

## ANEXO A

Neste anexo são apresentados os quadros que ilustra um orçamento realizado no LESA – UFV - de Unidade de Triagem e Compostagem, bem como sua curva ABC de custos.

Tabela 1A. Orçamento de uma Unidade de Triagem e Compostagem para municípios de até 10.000 habitantes

ITEM	CÓDIGO (SETOP)	DESCRIÇÃO	PREÇO TOTAL (R\$)
1	IIO-001	INSTALAÇÕES INICIAIS DA OBRA	2.275,33
2	PRE-001	PREPARO DO TERRENO	3.206,25
3	LOC-001	LOCAÇÃO DA OBRA	1.974,18
4	TER-001	TERRAPLENAGEM / TRABALHOS EM TERRA	4.104,58
5	FUN-002	FUNDAÇÃO SUPERFICIAL	5.721,20
6	EST-001	ESTRUTURAS DE CONCRETO	13.250,00
7	ARM-001	ARMAÇÃO	6.362,50
8	COB-001	COBERTURAS	13.250,00
9	ALV-001	ALVENARIAS E DIVISÕES	7.709,88
10	CIN-001	CINTAMENTO E VERGAS	1.085,28
11	SER-001	SERRALHERIA	14.556,69
12	REV-001	REVESTIMENTOS DE PAREDES E TETOS	9.511,50
13	PIS-001	PISOS	50.678,38
14	ROD-001	RODAPÉS	159,00
15	VID-001	VIDROS, ESPELHOS E ACESSÓRIOS	543,50
16	PIN-001	PINTURA	4.560,00
17	BAN-001	BANCADA	699,35
18	DRE-001	DRENAGEM	6.231,00
19	URB-001	URBANIZAÇÃO E OBRAS COMPLEMENTARES	2.345,05
20	OBR-001	OBRAS VIÁRIAS (PAVIMENTAÇÃO DE RUAS)	3.057,50
21	ABE-001	ABERTURA DE POÇOS	2.652,50
22	CER-001	CERCA DE MOURÃO CONCRETO	11.675,00
23	HID-001	INSTALAÇÃO HIDRO-SANITÁRIA	2.300,00
24	LOU-001	LOUÇAS E METAIS	1.123,30
25	ELE-001	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E TELEFÔNICAS	4.500,00
26	LIM-001	LIMPEZA GERAL	1.316,00
<b>TOTAL DA OBRA (R\$)</b>			<b>175.562,97</b>

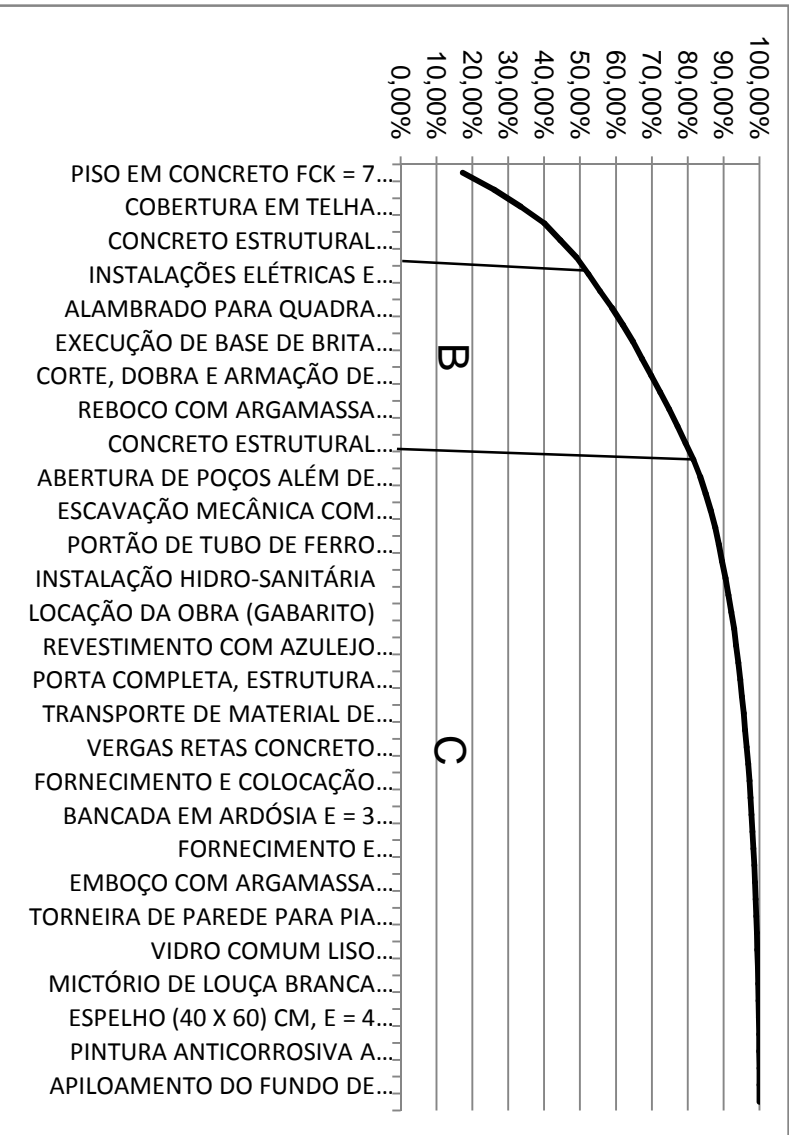


Figura 1A – Curva ABC para o orçamento da Tabela 1A

## ANEXO B

A tabela abaixo apresenta uma comparação de orçamentos realizados utilizando-se o SINAPI de junho de 2011 para a execução do pátio de compostagem em concreto comum e solo-cimento

Tabela 1B – Orçamentos ilustrativos de pátios em concreto comum e em solo-cimento, em R\$/m<sup>2</sup>

Item	Pátio em Concreto			Pátio em Solo-cimento		
	Unidade	Preço unitário	Preço total por m <sup>2</sup> (+25% BDI)	Unidade	Preço unitário	Preço total por m <sup>2</sup> (+25% BDI)
Limpeza de terreno	m <sup>2</sup>	0,44	0,44	m <sup>2</sup>	0,44	0,44
Nivelamento	m <sup>2</sup>	0,15	0,15	m <sup>2</sup>	0,15	0,15
Locação de obra	m <sup>2</sup>	4,85	4,85	m <sup>2</sup>	4,85	4,85
Fôrma e desfôrma	m <sup>2</sup>	15,37	15,37	m <sup>2</sup>	15,37	15,37
Concreto não estrutural	m <sup>3</sup>	232,94	18,64	m <sup>3</sup>	-	-
Cimento	Kg	-	-	Kg	0,39	4,08
Escavação e transporte de solo de 1 <sup>a</sup> categoria	m <sup>3</sup>	-	-	m <sup>3</sup>	4,07	0,33
Compactação mecanizada	m <sup>2</sup>	-	-	m <sup>2</sup>	2,02	2,02
<b>TOTAL R\$/m<sup>2</sup></b>			<b>39,45</b>			<b>27,24</b>

Tabela 2B – Orçamento de UTC com pátio em concreto e em solo-cimento

DESCRIÇÃO	PREÇO	PREÇO
	TOTAL (R\$)	TOTAL (R\$)
	<b>Concreto Comum</b>	<b>Solo- cimento</b>
<b>UTC (exceto pátio)</b>	131.452,97	131.452,97
<b>Pátio em concreto comum (1.100 m<sup>2</sup>)</b>	43.395,00	-
<b>Pátio em solo-cimento (1.100 m<sup>2</sup>)</b>	-	29.964,00
<b>TOTAL</b>	<b>174.847,97</b>	<b>161.416,97</b>