

Guilherme Prampolim

Rafael Schulzinger Macedo

Veronica Lima Gonsalez

Concepção de um pátio de compostagem na região do Guarapiranga

Projeto de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, no
âmbito do Curso de Engenharia Ambiental

São Paulo

2015

Guilherme Prampolim

Rafael Schulzinger Macedo

Veronica Lima Gonsalez

Concepção de um pátio de compostagem na região do Guarapiranga

Projeto de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, no
âmbito do Curso de Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

São Paulo

2015

Catalogação-na-publicação

Gonsalez, Veronica Lima

Estudo de caso de uma usina de compostagem no Guarapiranga / V. L. Gonzalez, R. S. Macedo, G. Prampolim -- São Paulo, 2015.
155 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental.

1.Compostagem 2.Resíduos orgânicos 3.Guarapiranga 4.Tratamento de resíduos sólidos 5.Leiras revolvidas mecanicamente I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental II.t. III.Macedo, Rafael Schulzinger IV.Prampolim, Guilherme

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Doutor Ronan Cleber Contrera pela disponibilidade em nos auxiliar nas diversas dúvidas, e em nos acompanhar gentilmente em todo o processo de elaboração do trabalho com maestria.

Ao Professor Doutor Renato Zambon, pelo apoio complementar e auxílio no cronograma e planejamento do estudo.

Ao Engenheiro Mario de Carvalho Fontes Neto, que nos disponibilizou os dados e a oportunidade de trabalhar com um caso real de aplicação de engenharia ambiental que possa gerar um impacto positivo na comunidade. Agradecemos pela paciência, pela confiança e pelos ensinamentos passados ao nosso grupo.

À Engenheira Maria Heloísa Pádua Lima de Assumpção, por ter carinhosamente nos orientado nas questões de licenciamento. Sua experiência e conhecimento foram fundamentais para compreender o contexto institucional do empreendimento proposto.

À Tera Ambiental, por gentilmente abrir suas portas para o grupo conhecer uma planta de compostagem de larga escala.

Aos membros da banca, por disponibilizarem de seu tempo e pelas considerações fundamentais para a melhoria do trabalho.

Por fim, aos nossos familiares e amigos por todo amor, suporte e incentivo durante todo o período de nossa graduação.

ÍNDICE

1	Introdução	1
2	Objetivo	3
3	ReferÊncia teórica.....	3
3.1	Fatores que afetam o tratamento por compostagem	5
3.1.1	Bactérias.....	5
3.1.2	Fungos.....	6
3.1.3	Actinobactéria	6
3.1.4	Macro-organismos	6
3.1.5	Umidade	7
3.1.6	Temperatura	8
3.1.7	Oxigenação	10
3.1.8	pH	11
3.1.9	Granulometria	11
3.1.10	Quantidade de nutrientes	11
3.1.11	Relação carbono/nitrogênio.....	12
3.2	Tecnologias disponíveis	13
3.2.1	Pré-compostagem	14
3.2.2	Tecnologias de compostagem	21
	Fonte: autores	29
3.2.3	Maturação.....	29
3.3	Implantação de uma unidade de compostagem.....	29
3.3.1	Diagnóstico dos tipos de insumo	32
3.3.2	Zona envoltória de segurança (<i>Buffer</i>)	34
3.3.3	Áreas alagadas e planícies de inundação	35
3.3.4	Drenagem.....	35

3.3.5	Serviços públicos no local de operação.....	36
3.3.6	Proteção contra incêndio	36
3.3.7	Acesso de veículos.....	37
3.3.8	Odores.....	38
3.4	Operação	40
3.5	Composto final e seus usos	41
4	Levantamento de dados.....	44
4.1	Descrição do potencial local para o pátio de compostagem	45
4.2	Geração de resíduos orgânicos na AELG	47
4.3	Licenciamento	50
4.4	Equipamentos	51
4.5	Descrição da demanda de composto humificado.....	53
5	Análise de dados.....	53
6	Definição do problema	59
7	Alternativas para a solução do problema	61
8	Escolha da solução	62
8.1	Escalas e justificativas	62
8.2	Alternativa escolhida	67
9	Detalhamento do projeto	67
9.1	Visita técnica	67
9.2	Condições Legais e de licenciamento	70
9.3	Dimensionamento do pátio.....	71
9.3.1	Layout.....	71
9.3.2	Terraplanagem	72
9.3.3	Impermeabilização.....	77
9.3.4	Balanço hídrico	78

9.3.5 Drenagem	81
9.3.6 Cobertura	83
9.4 Operação	85
9.4.1 Rotina de trabalho	85
9.4.2 Estoque	90
9.4.3 Receita	90
9.4.4 Monitoramento dos impactos ambientais	91
9.4.5 Segurança do trabalho	93
9.4.6 Utilização do composto.....	93
9.4.7 Equipe de colaboradores.....	94
9.5 Custos	94
9.5.1 Implantação	94
9.5.2 Operação.....	96
9.5.3 Análise de investimento.....	100
10 Recomendações.....	101
11 Conclusão	103
12 Referências Bibliográficas	105
13 Apêndices.....	108
Apêndice I – Tabelas de geração de resíduos.....	109
Apêndice II – Pesquisa para atribuição de pesos na Análise Multicritérios	115
Apêndice III – Manual de Operação do Pátio de Compostagem	117
Apêndice IV – Balanço Hídrico para um pátio de compostagem descoberto na região do Guarapiranga	118
Apêndice V – Modelo para o dimensionamento das leiras no pátio de compostagem	119
Apêndice VI – Planta do pátio de compostagem	121

Apêndice VII – Projeção de custos	122
14 ANEXOS	123
Anexo I – Levantamento planialtimétrico	124
Anexo II - Exemplo de dimensionamento de leiras	125
Anexo III – Orçamentos solicitados para estimativa de custo do empreendimento	127

RESUMO EXECUTIVO

O presente estudo pretende apresentar e caracterizar a demanda de uma associação de nome fictício Associação de Esporte e Lazer do Guarapiranga (AELG) em criar uma alternativa sustentável e financeiramente vantajosa para a destinação de resíduos sólidos orgânicos. O caso se apresenta como relevante por estar localizado em uma região de mananciais, e por se tratar de uma alternativa inovadora que pode ser replicada em diversas outras instituições no município de São Paulo.

Baseando-se em estudos anteriores e manuais de implantação e operação de compostagem da Agência Ambiental dos Estados Unidos (EPA), foi possível extrair as melhores práticas para o tratamento de resíduos sólidos ser um processo seguro e com o mínimo de incômodo aos moradores da região.

Foram realizadas visitas a campo com coleta de dados, busca de dados na literatura, além dos dados disponíveis pela Associação, sem os quais o estudo não se realizaria. Os resíduos são gerados por três fontes diferentes: abrigo de equinos, restaurantes e poda de árvores e jardinagem. Cada fonte foi caracterizada através de dados históricos coletados pela Associação, e através de uma matriz de decisão, decidiu-se por não utilizar os resíduos de restaurante, devido à dificuldade na separação que geraria um acréscimo de custo elevado, sedo que esta fração não é muito representativa.

Com este método, também foi definida a tecnologia a ser utilizada. De acordo com os recursos disponíveis na Associação e com o aporte de resíduos, a tecnologia mais apropriada é a leira com revolvimento mecânico através de retroescavadeira já adquirida pela Associação. A escolha também contou com a possibilidade de utilização de inoculantes, que foi descartada por apresentar um incremento de custo que não era justificado pelos benefícios de seu uso.

Com essas definições, foi possível detalhar o pátio de compostagem desde o planejamento, passando pela execução das obras, até a operação e monitoramento. O local a ser instalado o pátio já fora definido pela Associação, e necessita nivelamento topográfico para adquirir as características de declividade, impermeabilidade e acessibilidade necessárias para a operação. Foram descritos os cortes e aterros do terreno através de figuras, e o planejamento da

impermeabilização foi baseado em práticas de aterros sanitários, para impedir a poluição do ambiente subterrâneo.

A fim de evitar a geração de chorume devido às fortes precipitações do local, foi proposta uma cobertura fixa que torne a operação independente das condições climáticas da região. A cobertura será integrada com um sistema de aproveitamento de água da chuva, para utilização no próprio pátio para rega das leiras.

A seguir, foi proposta uma rotina de operação para otimização do espaço e dos recursos da Associação, com a descrição no período de transição, que representa o início das atividades, e do período de operação normal, quando todo o pátio será ocupado. Considerações sobre segurança no pátio de compostagem foram incluídas como recomendações, devido à operação apresentar riscos aos trabalhadores.

Por fim, uma análise de custos foi elaborada a fim de apresentar os investimentos necessários para a implantação e o custo mensal que deverá ser desembolsado pela Associação para operar o pátio de compostagem. Depois de levantados os custos, uma análise de *pay-back* foi elaborada para calcular o prazo de recuperação do capital investido, considerando apenas o caráter financeiro do empreendimento.

Ao final, conclui-se que, apesar dos custos iniciais para instalação serem relativamente elevados, o investimento se paga em 6 anos, sendo vantajosa economicamente para a instituição a execução do projeto. A implantação do pátio de compostagem não é boa apenas para a AELG, o projeto pode e deve servir de modelo para estudo e implantação de outros projetos de compostagem similares, além de, principalmente, apresentar as diversas vantagens desta tecnologia, incentivando amplamente a execução de mais projetos na área. Isto ocorrendo, o meio ambiente ganha em sustentabilidade.

Palavras chave: Compostagem, Resíduos orgânicos, Guarapiranga, Tratamento, Condicionador de solo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O processo de compostagem (Balanço de massa)	4
Figura 2 - Cadeia alimentar dos organismos na compostagem	7
Figura 3 - Influência da geometria das leiras na absorção de água	8
Figura 4 - Comportamento da temperatura e do pH em cada fase	9
Figura 5 - Temperatura e oxigenação no interior da leira.....	10
Figura 6 - Tipo de Peneiramento: Tambores de separação	15
Figura 7 - Separador de resíduos por ar	16
Figura 8 - Separador balístico ou inercial	17
Figura 9 - Triturador do tipo <i>Hammermill</i>	18
Figura 10 - Tambor rotativo para redução de partículas	19
Figura 11 - Formação das leiras tipo <i>window</i>	22
Figura 12 - Revolvimento das leiras	22
Figura 13 - Aeração passiva.....	23
Figura 14 - Equipamentos para revolver leiras mecanicamente.....	24
Figura 15 - Aeração ativa de leiras estáticas.....	25
Figura 16 - Composteira <i>in-vessel</i>	26
Figura 17 - Menor distância entre os limites do pátio e o Córrego do Tanquinho	46
Figura 18 - Menor distância entre o limite do pátio e uma residência	46
Figura 19 - Menor distância entre os limites do pátio e uma casa da Associação	47
Figura 20 - Campo de Golfe	48
Figura 21 - Vista para a Guarapiranga da AELG.....	49
Figura 22 - Estábulo no Depto Hípico - detalhe para o instrumento de limpeza à esquerda	50
Figura 23 - Picadora Trituradora	52
Figura 24 - Trator com carreta para resíduos de poda e jardinagem	52

Figura 25 - Exemplo de uso de composto para verduras - Shopping Eldorado	68
Figura 26 - Chegada de resíduos no pátio de compostagem.....	69
Figura 27 - Leiras revolvidas mecanicamente com identificação	69
Figura 28 - Representação dos platôs no pátio de compostagem	73
Figura 29 - Cortes transversais e longitudinais do pátio de compostagem	74
Figura 30 - Localização do reservatório de águas pluviais.....	81
Figura 31 - Localização da caixa de percolado	82
Figura 32 - Funcionamento da manta geotêxtil em tempo seco e úmido	84
Figura 33 - Ilustração da operação do pátio na fase inicial	87
Figura 34 - Ilustração da operação do pátio.....	88
Figura 35 - Localização dos poços de monitoramento	91

LISTA DE TABELAS

- Características dos resíduos da leira de compostagem, médias em base seca.....	13
- Características de cada tipo de resíduo.....	20
- Vantagens e Desvantagens de cada tecnologia [continua].....	27
- Distâncias mínimas de <i>buffer</i> para uma unidade de compostagem.....	34
- Características do composto e seus respectivos usos.....	43
- Dimensões do pátio de compostagem	45
- Consumo de combustível dos equipamentos.....	53
- Resultados da pesquisa e definição dos pesos	64
- Matriz de decisão	65
- Cotas dos pontos no Córrego do tanquinho.....	77
- Balanço de nutrientes	90

1 INTRODUÇÃO

Encarar o resíduo sólido como oportunidade é a abordagem que motivou o presente trabalho. Trata-se de um estudo de caso de uma associação de nome fictício Associação de Esporte e Lazer do Guarapiranga (AELG), que prefere manter seu nome em sigilo por motivos estratégicos. O interesse no caso está na sua localização e geração diferenciada de resíduos, que, inevitavelmente, demandam análise e projeto mais rigorosos. A Associação está localizada na margem da represa de Guarapiranga, na zona sul do município de São Paulo.

O cenário atual de geração de resíduos sólidos na região da grande São Paulo também contribui com a iniciativa de se pensar em novas formas de tratamento. O PlanSab (Plano Nacional de Saneamento Básico), publicado em 2011, evidencia problemas relacionados à falta de gerenciamento adequado dos resíduos sólidos domiciliares em todo o país, principalmente no meio rural. Esse descaso com o gerenciamento implica em complicações como: criação de passivo ambiental devido à queima ou disposição inadequada dos rejeitos; alteração da dinâmica social, com criação de atividades informais de risco, desvalorização de regiões; além das consequências negativas à saúde pública pela má qualidade das condições sanitárias. Dada a gravidade da situação, surgem iniciativas diversas com o objetivo de criar novos destinos para o resíduo sólido urbano e rural.

Como exemplo disso, podemos citar a inclusão da compostagem como alternativa no programa de redução de resíduos orgânicos da cidade de São Paulo, o SP Recicla. Neste programa, a compostagem doméstica é incluída como projeto piloto, enquanto que a implantação deste tratamento em escala para resíduos de podas e jardinagem e de feiras livres constitui uma meta oficial da prefeitura até 2016. Dentro desta meta, está incluída uma usina no Aterro de Santo Amaro, próxima ao local da AELG. Vale ressaltar que o tratamento de resíduos sólidos por meio da compostagem é muito efetivo tanto no meio urbano quanto no meio rural, onde a prática já ocorre há muito tempo e deve ser incentivada como uma solução para atenuar os problemas com o lixo nos locais mais afastados.

O Brasil vive uma realidade difícil em relação a resíduos sólidos. Em 2014 venceu o prazo para que todos os municípios dessem a correta destinação para seus resíduos sólidos, que seria reciclagem, tratamento e destinação final de rejeitos

em aterro sanitário, porém a meta não foi cumprida e a situação permanece crítica. Estima-se que 50,8% dos municípios destinem seus resíduos para lixões e aterros controlados, de acordo com o PNSB (IBGE,2008). A mesma Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/10 e pelo Decreto nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010, que colocou a meta acima descrita, determinou a responsabilidade dos municípios em praticar a gestão mais adequada dos resíduos. A melhoria na gestão dos resíduos implica numa mudança de mentalidade. A destinação final deve ser a última opção para o resíduo, apenas os rejeitos não passíveis de sofrer qualquer outro processo devem ir para o aterro. Em substituição aparece o conceito de revalorização dos resíduos, o reuso e a reciclagem ganham em importância e passam a ser atitudes prioritárias, pois transformam, novamente, o que antes seria descartado, em produto disponível no mercado. Exauridas as possibilidades de reuso e reciclagem, as técnicas de compostagem se aplicam a essa proposta de mudança de mentalidade, propondo uma técnica de tratamento de resíduos orgânicos com reaproveitamento do material como composto que pode melhorar as condições nutritivas do solo.

A maior parte dos resíduos sólidos urbanos é constituída de matéria orgânica, como é o caso estudado (resíduos de poda e jardinagem, restos de alimento, serragem e dejetos de cavalos). Apenas os resíduos de poda gerados no Estado de São Paulo, em 2008, atingiram a marca de 66.000 toneladas (Cortez, C.L.; 2011), demonstrando a significância de se atuar sobre isso. De acordo a ABNT NBR 10004 e 10006 os resíduos estudados são classificados como Classe II A – Não perigosos, não oferecem riscos ao meio ambiente e à saúde pública, mas não são inertes, devido sua biodegradabilidade.

Atualmente, os resíduos sólidos da AELG são destinados para aterros sanitários, com exceção dos resíduos da hípica, que são destinados para uma empresa que comercializa adubos. Esta empresa tem como prática a retirada dos resíduos de cama de cavalo diretamente nos geradores. Porém, devido à localização da AELG ser mais afastada do centro urbano da cidade, a empresa não retira os resíduos gratuitamente, sendo o transporte responsabilidade da Associação. Além disso, a AELG compra com enorme quantidade de composto condicionador de solo, agravando a sua condição desfavorável na negociação e fortalecendo sua necessidade de encontrar uma alternativa para este resíduo.

2 OBJETIVO

Dentro deste contexto, a AELG pretende fazer um aproveitamento dos seus resíduos orgânicos para produção de composto, que será utilizado no próprio local, alinhando-se à ideia de reciclagem indicada pela PNRS, pesar do processo de compostagem ser classificado teoricamente como um tratamento.

O presente estudo servirá, portanto, como uma importante ferramenta de auxílio aos tomadores de decisão, para que se encontre uma solução para a questão do resíduo orgânico da Associação. Serão identificadas alternativas de diferentes tecnologias para o tratamento com a compostagem e a melhor delas será escolhida através de uma matriz de decisão.

3 REFERÊNCIA TEÓRICA

Neste item, pretende-se fazer uma breve revisão teórica sobre o tema de compostagem baseada em estudos anteriores sobre o assunto. Serão descritos os conceitos necessários para o planejamento de uma usina de compostagem, desde a escolha do local, passando pelo projeto executivo e sua operação. Foram considerados neste resumo apenas os conceitos que de alguma maneira servirão de subsídio para o estudo de caso a ser descrito.

A compostagem é um tipo de tratamento biológico aeróbio em ambiente controlado em que ocorre a transformação de resíduos orgânicos em um composto estável. O processo pode ter como matéria-prima qualquer resíduo orgânico, sua composição interfere diretamente na qualidade do produto final. Uma definição simplificada para resíduo orgânico é todo material que tem sua origem animal ou vegetal. Podemos agrupar os resíduos orgânicos passíveis de compostagem em três grupos de acordo com sua origem:

- Resíduos de jardinagem;
- Restos de alimentos;
- Resíduos de origem animal.

Para que o processo possa ser considerado como compostagem é necessário haver um acompanhamento de diversos parâmetros na sua operação, garantindo assim que a decomposição biológica seja feita aerobiamente. Sem a presença de

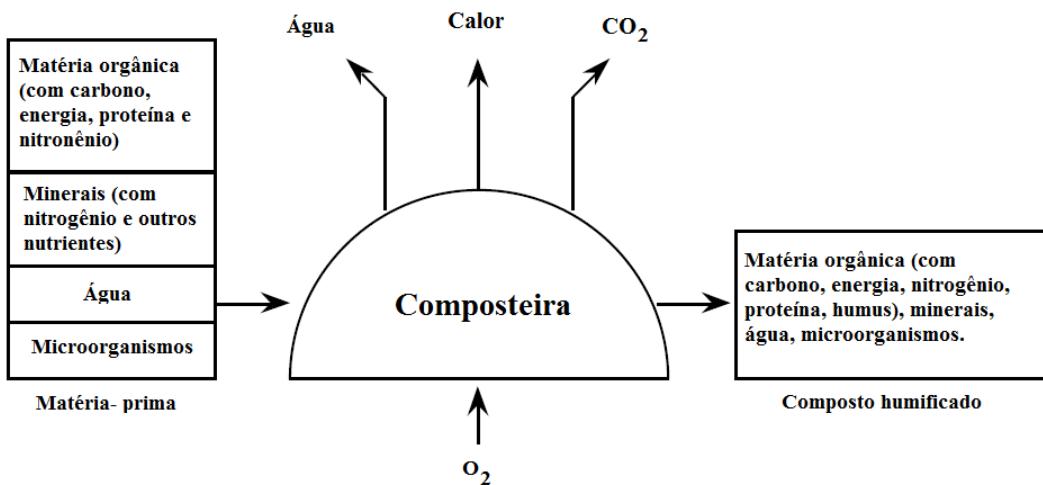
oxigênio suficiente, o processo passa a ser mais lento e pode gerar odor e atrair vetores.

Segundo Pichtel (2005), A compostagem em escala comercial ocorre em três fases principais: triagem, redução do tamanho e biodegradação com geração de calor. A fase de biodegradação pode ainda ser separada em outras 4 etapas, de acordo com a atuação dos diversos microrganismo do processo. São elas: Fase Mesofílica, Fase Termofílica, Arrefecimento e Maturação.

Durante o processo de compostagem os constituintes do rejeito são biologicamente transformados e podem se tornar partes componentes dos próprios tecidos celulares, parte deles é volatilizado e o restante constitui o húmus, uma substância escura, uniforme, pastosa, rica em partículas coloidais e com propriedades completamente diferentes da matéria-prima da compostagem. O húmus também pode ser chamado de composto humificado. A Figura 1 mostra um esquema simplificado do balanço de massa do tratamento por compostagem.

Figura 1 - O processo de compostagem (Balanço de massa)

O processo de compostagem



Fonte: Reprinted with permission from Rynk, et al., *On Farm Composting Handbook*, (1992) (NRAES-54)

O processo de compostagem é, portanto, exotérmico, ou seja, os micro-organismos liberam calor com a sua atuação. Por isso, a temperatura do composto deve ser constantemente monitorada. Os micro-organismos que liberam calor são aeróbios ou facultativos e atuam na faixa de temperatura entre 20 e 65°C.

As características do composto final também constituem fator importante no tratamento por compostagem. O composto deve estar totalmente estável, ou seja, depois de passar pela maturação não pode gerar odor e suas características físico-químicas não devem alterar-se muito.

Dentre algumas vantagens do tratamento por compostagem pode-se citar: a promoção de reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, evitando que estes gerem passivos ambientais em aterros e contribuam para seu esgotamento; redução nos custos de transportes de resíduos; custo reduzido em relação a outros tratamentos; método não poluente; e não exige mão-de-obra especializada. Entretanto, algumas desvantagens também devem ser consideradas, como: desvalorização do entorno; restrição do tratamento à parte orgânica dos resíduos; dependência do mercado consumidor para viabilidade do tratamento e, se for mal dimensionada, operada ou instalada, a usina pode gerar odores, atrair e proliferar vetores, além da poluição das águas superficiais e subterrâneas com nutrientes e matéria orgânica.

3.1 Fatores que afetam o tratamento por compostagem

Os principais agentes de transformação no processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos. A atividade destes micro-organismos que define as condições de degradação e estão condicionadas à situação do meio ambiente em que se encontram, como umidade, temperatura, oxigenação, pH, granulometria e quantidade de nutrientes. Além desses, a atuação de macrorganismos também é relevante. Cada um destes fatores será detalhado a seguir.

3.1.1 Bactérias

Na fase termófila as bactérias têm atuação principal. São responsáveis pelas seguintes atividades: “decompor a matéria orgânica animal ou vegetal, aumentar a disponibilidade de nutrientes, agregar partículas ao solo, e fixar nitrogênio.” (Bidone; Povinelli, 2010).

3.1.2 Fungos

Os fungos são organismos filamentosos e heterotróficos e predominam em faixas baixas de pH, apesar de também se desenvolverem em ambiente alcalino. Sua predominância em pH baixo está relacionada à ausência de bactérias e actinomicetos nestes ambientes. Suas funções são: “decomposição de resíduos resistentes de animais ou vegetais, formação do húmus, decomposição em alta temperatura de material vegetal, feno, composto etc., e fixação de nitrogênio.” (Bidone; Povinelli, 2010).

3.1.3 Actinobactéria

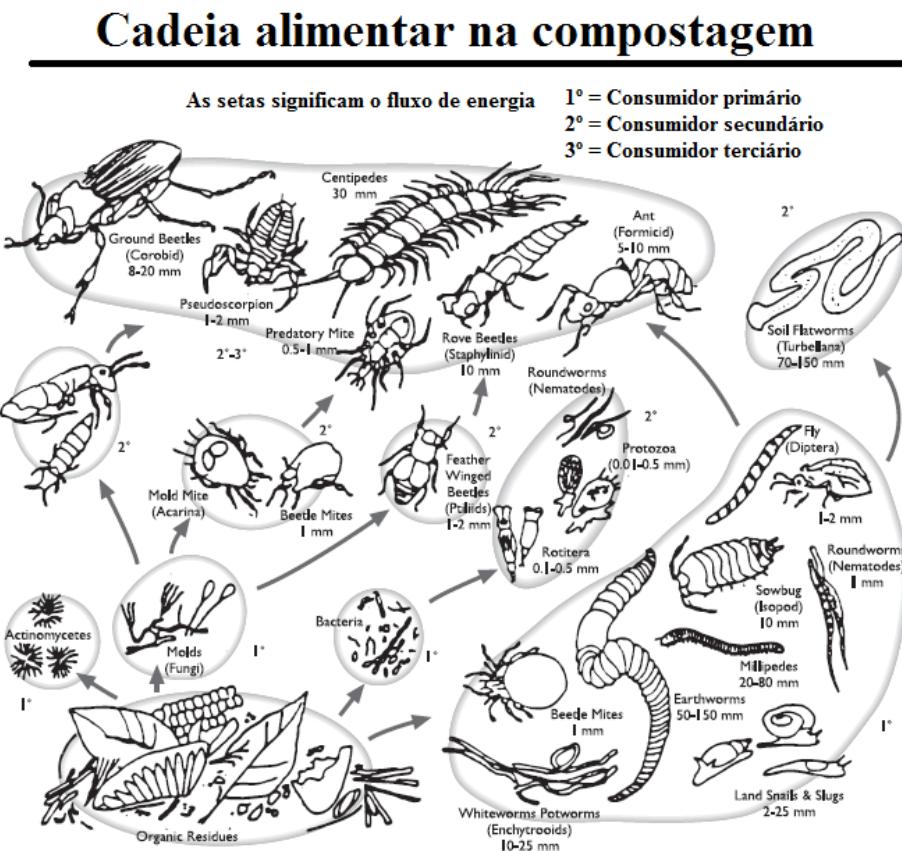
São organismos unicelulares e não sobrevivem a pH baixo. A principal característica dos actinomicetos é que são maus competidores nos ambientes de compostagem, aparecendo, principalmente, quando não existem mais bactérias ou fungos no meio. De acordo com Bidone e Povinelli (2010) suas principais funções são: decomposição de resíduos resistentes de animais ou vegetais, formação do húmus, feno, composto etc., e fixação de nitrogênio.

3.1.4 Macro-organismos

A parte mais exterior de qualquer pilha de compostagem fornece um ambiente fresco o suficiente para os macro-organismos desempenharem um papel no processo de decomposição. São organismos multicelulares que variam em tamanho entre o microscópico (rotíferos e nematóides) até os macroscópicos (fungos, ácaros, colêmbolos, besouros e minhocas). A mastigação, o forrageamento e a movimentação ajudam a criar canais e uma área de superfície maior em que a ação bacteriana pode ocorrer.

A Figura 2 descreve a cadeia alimentar para a decomposição de matéria orgânica dentro de pilhas de compostagem.

Figura 2 - Cadeia alimentar dos organismos na compostagem



Fonte: Dindal, (1978)

3.1.5 Umidade

A umidade nas leiras de compostagem está diretamente relacionada à quantidade de oxigênio do meio. Como no solo, os poros que se formam em uma leira de compostagem vão conter água ou ar, e essa relação define as condições necessárias para decomposição. A taxa ideal de temperatura varia dependendo do estado físico e tamanho das partículas e do sistema de compostagem utilizado. De acordo com Bidone e Povinelli (2010) o teor de umidade no processamento deve estar próximo de 55%. Umidade inferior a 40% pode comprometer a atividade biológica, enquanto que superior a 60% pode conferir ambiente anaeróbico nas leiras.

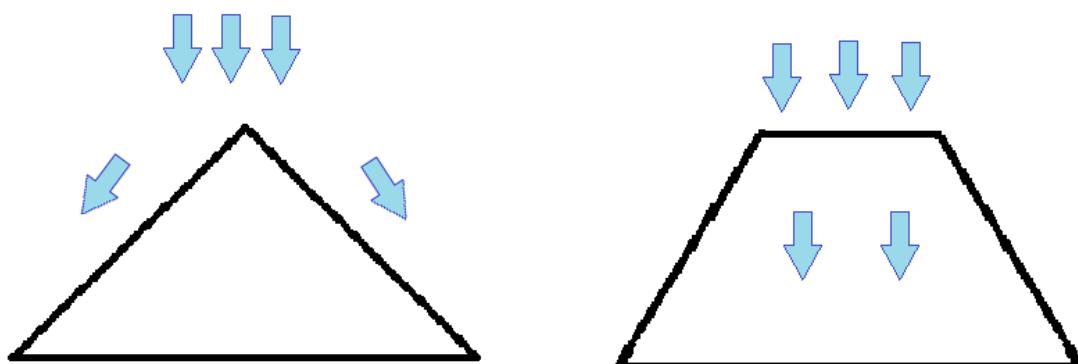
O método de compostagem mais utilizado no Brasil é o *windrow method* que conta com o revolvimento periódico das leiras, manual ou mecânico, para garantir um ambiente aerado em toda a pilha. Ao revolver o material, devido às elevadas

temperaturas atingidas no interior da leira, parte da água evapora, sendo necessária sua reposição com água bruta de boa qualidade.

A geometria das leiras colabora com o controle de umidade do processo e influencia, também, na sua temperatura. Elas costumam ter formato triangular ou trapezoidal, conforme Figura 3. As leiras triangulares tendem a reter menos água da chuva, pois contribuem com o sentido de escoamento. Portanto, conhecer a precipitação do local da usina de compostagem é um fator importante para fase de projeto.

Figura 3 - Influência da geometria das leiras na absorção de água

Geometria das leiras



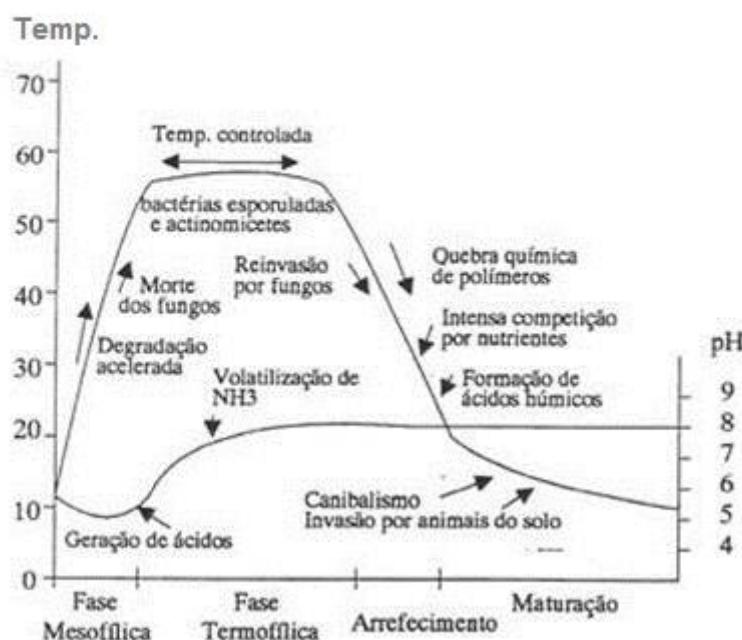
Fonte: autores

3.1.6 Temperatura

A temperatura nas leiras depende da fase de decomposição em que estão os compostos e varia de acordo com a camada da leira. Por este motivo a temperatura no interior da leira é um bom indicador do que está ocorrendo. A Figura 4 mostra o que pode acontecer em cada uma das fases da compostagem e como a temperatura no interior da leira se comporta.

Figura 4 - Comportamento da temperatura e do pH em cada fase

Curva de temperatura e pH em cada fase da compostagem



Fonte: (Neto e Mesquita, 1992)

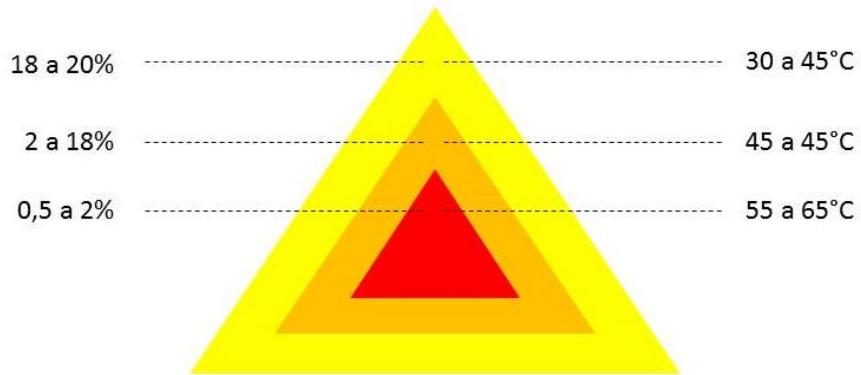
Na fase mesofílica, a temperatura deve estar entre 45°C e 55°C, enquanto que na fase termofílica, acima de 55°C, sendo a faixa ótima próxima de 55°C segundo alguns autores. Essas elevadas temperaturas contribuem para a eliminação de patógenos e de ervas daninhas e ocorrem de forma natural devido ao metabolismo exotérmico dos decompositores. Além disso, com as altas temperaturas ocorre volatilização do nitrogênio em forma de amônia, fato que empobrece o composto final. Entretanto, temperaturas acima de 65°C podem ser prejudiciais e eliminar os micro-organismos bioestabilizadores responsáveis pela transformação da matéria-prima em húmus.

A temperatura da leira está intimamente relacionada à sua umidade. Baixas temperaturas na fase termofílica indicam alta umidade, enquanto que altas temperaturas indicam pouca umidade. Por isso, o controle da temperatura pode ser feito através de revolvimento ou irrigação. Idealmente, a fase termofílica deve ser mantida com elevadas temperaturas por pelo menos um mês (Bidone; Povinelli,

2010). A variação da temperatura e oxigenação dentro de uma leira na fase termofílica se dá de acordo com a Figura 5.

Figura 5 - Temperatura e oxigenação no interior da leira

Temperatura e oxigenação dentro de uma leira



Fonte: autores

Outras características das leiras podem influenciar na temperatura. Por exemplo, materiais ricos em proteínas aquecem-se rapidamente; leiras homogêneas em granulometria conseguem reter mais calor. A geometria também pode influenciar na temperatura, bem como a altura da leira, que, quanto mais baixa, menor a temperatura interna.

3.1.7 Oxigenação

Principal parâmetro dentro de uma leira, a quantidade de oxigênio é fundamental para o processo ocorrer perfeitamente. A seguir é apresentada a reação que ocorre dentro das leiras na decomposição da glicose, molécula tida como referência para ilustrar o processo.



Se a concentração de oxigênio cair muito os organismos facultativos passam a atuar de forma anaeróbia e produtos indesejáveis podem se formar. Para o caso da glicose, uma reação indesejada que pode ocorrer é a fermentação:



A decomposição de forma aeróbia é muito mais rápida e libera uma quantidade de energia muito maior.

Segundo Pichter (2005), a medição do oxigênio pode ser feita com um aparelho medidor simples e portátil. Outros parâmetros mais fáceis de serem medidos também podem auxiliar no monitoramento da oxigenação, como temperatura, umidade e tempo de revolvimento.

3.1.8 pH

Durante o processo o pH vai de ácido para alcalino gradativamente. Isso acontece porque, no início do processo, o resíduo possui pH baixo, além disso, a formação de ácidos minerais contribui para o baixo valor. Passado um tempo de processo os ácidos minerais dão lugar aos ácidos orgânicos, que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, desse modo, elevando o pH do composto até sua estabilização. O composto humificado tem caráter alcalino.

3.1.9 Granulometria

A granulometria, ou o tamanho das partículas constituintes da matéria-prima, compõe fator importante para aeração. Segundo Bidone e Povinelli (2010) o tamanho ideal dos resíduos sólidos orgânicos para compostagem deve estar entre 1 cm e 5 cm. Se os resíduos tiverem granulometria baixa, como resíduos de corte de grama, pode ocorrer compactação nas leiras e gerar um ambiente anaeróbio para os decompositores. Para evitar esta situação, podem ser introduzidos cavacos de madeira junto aos resíduos para aumentar os espaços entre os constituintes. Por outro lado, resíduos de maior granulometria, como troncos de árvores também devem ser evitados, pois atrasam o processo de compostagem.

3.1.10 Quantidade de nutrientes

Os macronutrientes essenciais para micro-organismos em quantidades relativamente grandes são o carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), e potássio (K). Microrganismo exigem C como uma fonte de energia, além de C e N serem fundamentais no processo de sintetizar proteínas, construir células e se reproduzir. P e K também são essenciais para a reprodução celular e metabolismo. Em um sistema de compostagem, C e N são, geralmente, os fatores limitantes para a eficiência na decomposição (Richard, 1992 *apud* USEPA, 1994).

Deve-se manter uma concentração de nutrientes adequada no processo de compostagem, no entanto eles também devem ocorrer de uma forma que pode ser facilmente assimilado pela célula microbiana. A capacidade de metabolizar os nutrientes é diferente para cada microrganismo e alguns deles metabolizam somente substâncias que já passaram por algum processo biológico anterior. Por isso é importante manter uma diversidade na comunidade biológica da composteira.

A disponibilidade de nutrientes é também influenciada pelo pH da matéria-prima. No pH neutro, alguns metais (por exemplo, Cu, Ni, Zn) são tipicamente solúveis e, portanto, disponível em quantidade suficiente. Entretanto, em pH ácido, os mesmos metais podem conferir caráter tóxico e inibitório em quantidades elevadas e em pH alcalino, precipitam e ficam bio-indisponíveis.

3.1.11 Relação carbono/nitrogênio

“No geral, microrganismo utilizam carbono como fonte de energia e nitrogênio para construir proteínas e outros componentes celulares.” (May e Simpson, 2009). Segundo Bidone e Povinelli (2010) os micro-organismos metabolizam C e N em uma proporção de 30:1 para, ao final do processo, gerarem um composto com proporção 10:1. Do total de carbono, 10 partes são incorporadas no protoplasma e 20 são liberadas como gás carbônico.

Uma proporção muito maior do que esta irá desacelerar a decomposição, pois a atividade microbiana levará tempo até estabilizar as concentrações. Por outro lado, se o C: N é inferior a cerca de 20: 1, a compostagem será inibida e o nitrogênio será perdido tanto por lixiviação quanto por volatilização da amônia ($NH_3(g)$).

Cada material orgânico possui uma razão de C/N diferente, portanto é necessário misturar os materiais para obter a relação adequada. Para a correta concepção do processo consultas na bibliografia são importantes bases na estimativa. Neste trabalho, a Tabela 1 servirá de guia para estimar quanto de cada resíduo orgânico deverá ir para a composteira.

Tabela 1 - Características dos resíduos da leira de compostagem, médias em base seca.

Resíduo	Umidade (%)	Carbono total (g/kg)	Nitrogênio total (g/kg)	C/N
Restos de comida	84	353	26,9	13:1
Cama de cavalo	39	372	9,2	15:1*
Aparas de grama	10	415	11,0	20:1*
Resíduos de poda	29	513	11,0	50:1*

*Valores adaptados para o cenário do estudo

Fonte: Inácio, C.T. (2012) (adaptado)

3.2 Tecnologias disponíveis

De acordo com May e Simpson (2009), pode-se separar os métodos de compostagem em três níveis diferentes, de acordo com a tecnologia empregada: baixo, intermediário e alto nível tecnológico. As diferenças residem no grau de sofisticação do sistema de controle e equipamento de processamento, o período de tempo necessário para a produção de composto e o espaço necessário para a operação. Soma-se a essas diferenças o tipo de resíduo que será utilizado na compostagem, pois ele pode conferir maior complexidade no processo no sentido de incluir pré-tratamentos.

Portanto a melhor técnica de compostagem é aquela que melhor se adequa a seus resíduos e limitações. Por isso, pretende-se resumir aqui os métodos de compostagem mais utilizados para cada fase do tratamento.

3.2.1 Pré-compostagem

Quando necessária, a etapa de pré-compostagem pode conferir um aumento de custo significativo para a compostagem. Essa etapa pode melhorar a eficiência da compostagem, a velocidade da decomposição e a qualidade do composto final. Por isso, diversas tecnologias foram desenvolvidas para transformar o resíduo sólido bruto em uma matéria-prima compostável.

Três procedimentos são tipicamente realizados durante a pré-compostagem: triagem, redução do tamanho das partículas e tratamento de matéria-prima para aperfeiçoar as condições de compostagem.

3.2.1.1 Triagem

A dificuldade da etapa de triagem está totalmente relacionada à diversidade dos resíduos sólidos, à tecnologia que será empregada na compostagem (que demanda qualidades diferentes da matéria-prima) e o uso do composto final.

Com a utilização de resíduos sólidos urbanos, a triagem passa a ser responsável por grande parte das despesas nos processos modernos de tratamento por compostagem (Richard, 1992). Pode ser feita manual ou mecanicamente e serve para remover os materiais indesejados ou classificar os orgânicos que servirão como matéria-prima.

Os materiais que devem ser removidos são aqueles que podem interferir nas operações de compostagem mecânica, inibir o processo de decomposição, causar problemas de segurança para aqueles que trabalham com utilizam o composto, ou gerar um dano estético ao produto. (USEPA, 1994). Os sacos de plástico são um problema muito comum na triagem de usinas de compostagem.

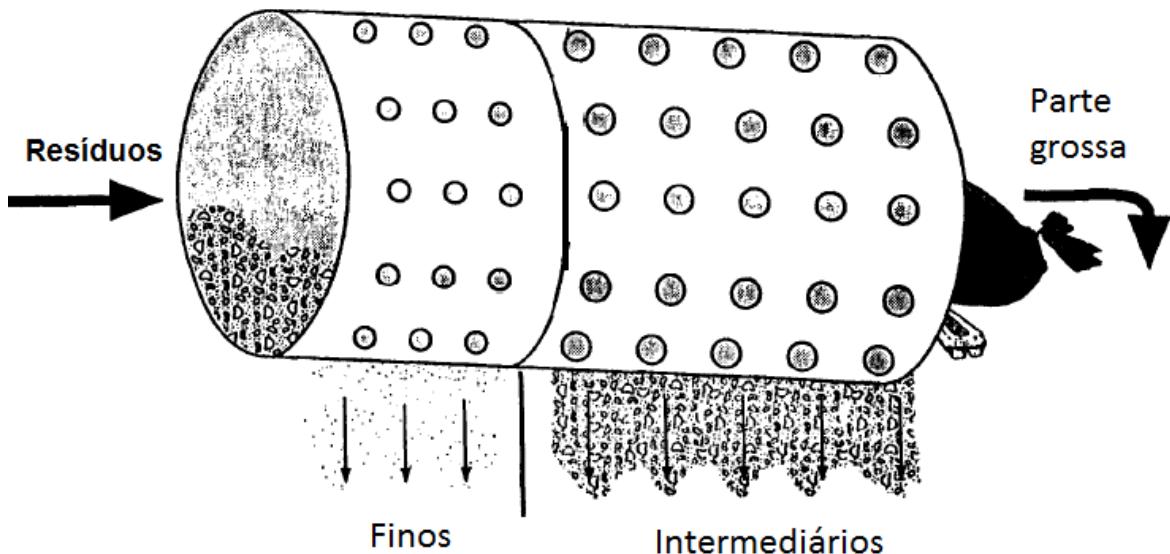
As técnicas mecânicas de triagem são baseadas nas propriedades físicas dos resíduos (tamanho, peso) e sua atração magnética. Seguem as técnicas de triagem mecânica mais comuns:

- Peneiramento - São usadas para controlar o tamanho máximo dos resíduos que serão utilizados para alimentar a composteira. Classificam os materiais pelo tamanho e densidade. O tipo de peneira usado depende do teor de umidade, coesão, heterogeneidade, forma das partículas e densidade da

matéria-prima a ser segregada. Tambores rotativos de separação são os equipamentos de peneiramento mais comumente utilizados e seu esquema está ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Tipo de Peneiramento: Tambores de separação

Tambor de separação



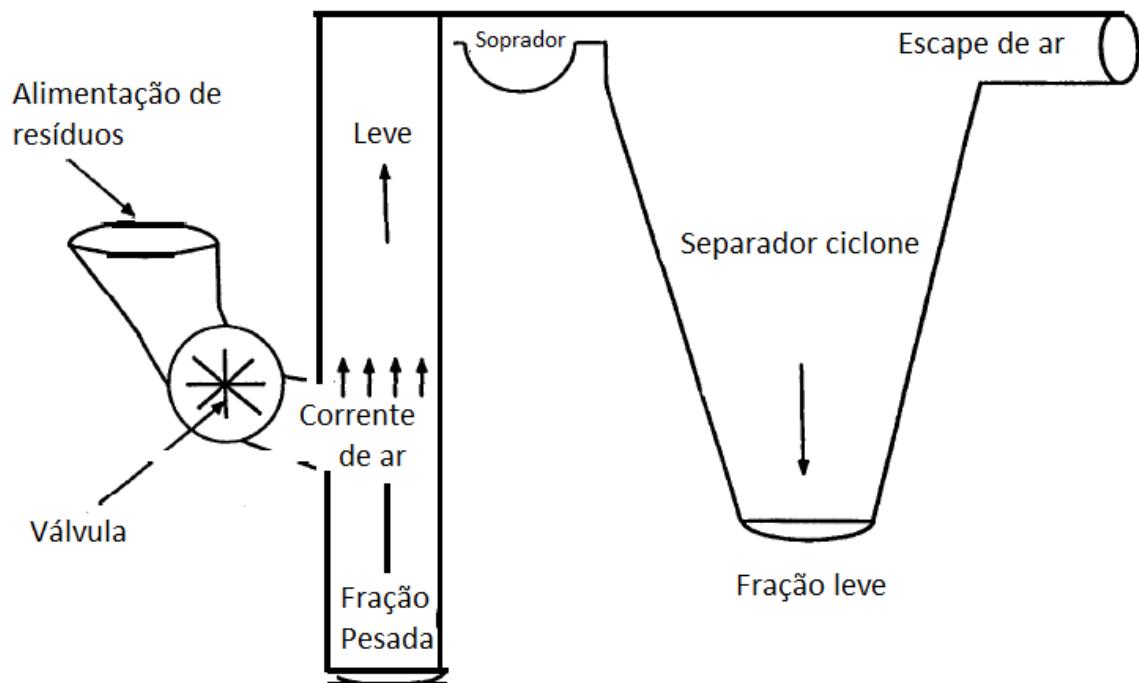
Fonte: Richard, (1992)

- Separadores magnéticos: ímãs ou eletroímãs atraem os objetos ferrosos que constituem os resíduos e conseguem segregá-los com facilidade. O material segregado pode ser vendido como sucata; sua eficiência é muito boa quando dimensionado corretamente. Para isso, deve-se atentar à velocidade da esteira rolante que move os resíduos, a proximidade destes com o objeto que os atrai, e a quantidade de materiais que está na esteira. A grande vantagem deste método é a facilidade com que pode ser incorporado aos outros tipos de triagem.
- Sistema de separação por ar: o coração de um sistema de separação por ar é uma coluna de ar por onde passam os resíduos conforme alimentação da máquina. Um grande ventilador sopra o ar, transportando materiais leves

como papel e plástico. De acordo com o manual da USEPA (1994) a eficiência de separação em experimentos atinge 90% para separação de plásticos e 100% para papeis. A Figura 7 ilustra o funcionamento deste sistema de forma clara e simplificada.

Figura 7 - Separador de resíduos por ar

Sistema de separação por ar

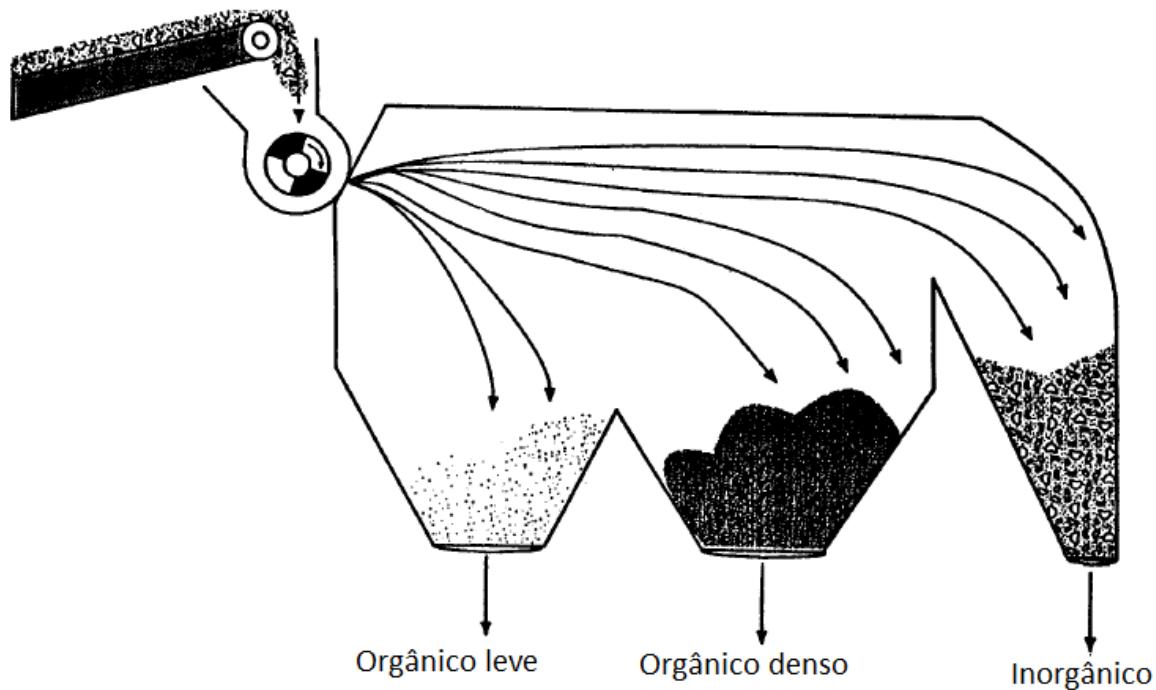


Fonte: Richard, (1992)

- Separador balístico ou inercial: esta tecnologia separa inertes e orgânicos com base em diferenças de densidade e elasticidade. A matéria-prima é depositada em um tambor ou cone giratório e como as trajetórias resultantes de vidro, metal, e pedras, dependem de densidade e elasticidade, cada resíduo vai para um local de armazenamento diferente. Na Figura 8 há um esquema de separador balístico que mostra o seu funcionamento

Figura 8 - Separador balístico ou inercial

Separador balístico ou inercial



Fonte: Richard, (1992)

- Separação manual: A separação manual é o método mais simples e se adapta melhor em pequenas instalações. Ele consiste na separação dos resíduos sólidos de acordo com a sua natureza feita por profissionais manualmente. Através de uma mesa de concreto ou metal que pode ser mecanizada, os operadores inspecionam os resíduos e retiram aqueles que se encontram fora do padrão buscado.

A mesa de separação deve ter altura de aproximadamente 1,0 m de modo que o colaborador trabalhe confortavelmente de pé e consiga manusear os resíduos. O uso de Equipamentos Individuais de Proteção é fundamental para este tipo de serviço. Além disso, diversas outras medidas devem ser tomadas no sentido de proteger os colaboradores nesta atividade, como treinamentos, limpeza periódica, manutenção de equipamentos, etc.

No caso de uma usina de compostagem que não conta com outros tratamentos associados, os resíduos restantes da separação deverão ser destinados para outros

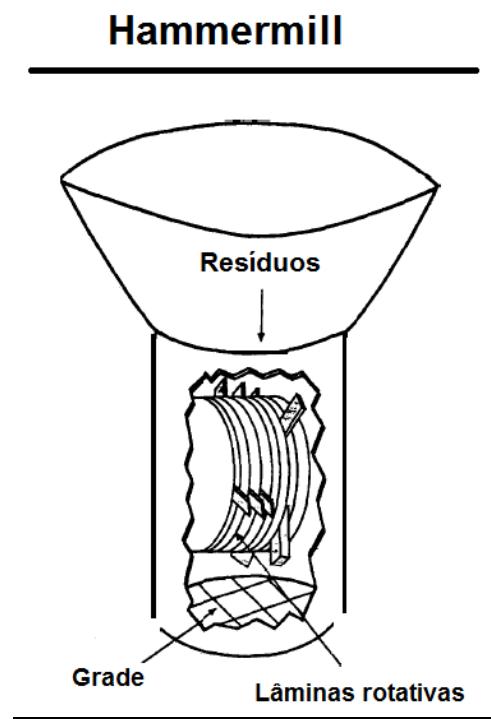
locais. Os rejeitos deverão ser destinados a aterros sanitários, os recicláveis serão destinados para recuperação, e os resíduos específicos como pilhas, baterias, pneus devem ter destinados de acordo com a resolução CONAMA que discorre sobre cada um deles.

3.2.1.2 Redução do tamanho das partículas

A principal razão para fazer a redução de tamanho das partículas é aumentar a área de superfície em relação ao volume dos resíduos. Isto aumenta a taxa de decomposição, já que a área em que os micro-organismos podem atuar na decomposição fica maior. Sabe-se, no entanto, que as partículas não podem ser muito pequenas a ponto de compactar e gerar um ambiente com poucos vazios causando anaerobiose na pilha. Alguns sistemas de redução de partículas são notáveis:

- Hammermills: trata-se de uma espécie de triturador, com lâminas rotativas onde os resíduos são alimentados por cima e saem reduzidos por baixo das lâminas, como na Figura 9.

Figura 9 - Triturador do tipo *Hammermill*

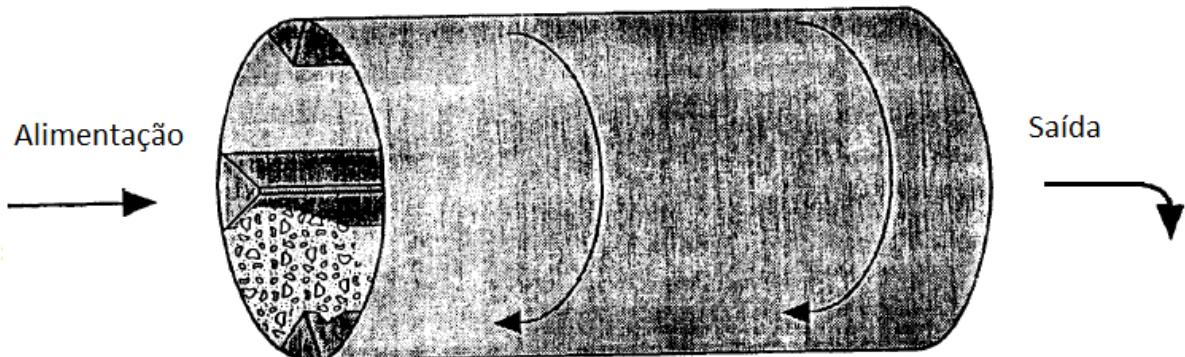


Fonte: Richard (1992)

- Trituradores de cisalhamento: são compostos por facas ou ganchos que giram a uma velocidade lenta com alto torque.
- Tambores giratórios: usam a gravidade para quebrar os materiais em um cilindro rotativo. O material é erguido por prateleiras ao longo dos lados do tambor e cai dentro do tambor repetidas vezes. A Figura 10 ilustra um tambor giratório para redução de partículas.

Figura 10 - Tambor rotativo para redução de partículas

Tambor Rotativo



Fonte: Richard, (1992)

3.2.1.3 Pré-Tratamento de matéria-prima

O pré-tratamento da matéria-prima da compostagem consiste em corrigir os parâmetros mais importantes para garantir condições mais próximas das ideais. Para isso, pode ser necessário misturar diferentes resíduos para atingir boa umidade, granulometria e nutrientes (razão de C/N); adicionar água nos montes; incorporar microrganismo ao processo a fim de acelerar a decomposição. A Tabela 2 ajuda a dimensionar as misturas que podem ser feitas durante a fase de tratamento.

Tabela 2- Características de cada tipo de resíduo

Matéria-prima	Possibilidade de auxiliar na mistura	Porosidade	Potencial de odor	Liberação de energia	Teor de umidade
Cama de animais	Potencial	Possível	Moderado	Moderado	Variável
Biossólidos	Não	Não	Moderado	Moderado	Moderado
Resíduos de cervejaria	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Tanque séptico doméstico	Não	Não	Alto	Variável	Alto
Resíduos de peixe	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Resíduos de alimento	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Resíduos de incubadora	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Estrume	Não	Não	Alto	Alto	Variável
Resíduos de Laticínios	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Vegetal	Não	Variável	Alto	Alto	Alto
Aves	Não	Não	Alto	Alto	Moderado-alto
Resíduos de madeira	Sim	Sim	Baixo	Baixo	Moderado
Soro de leite	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Fração de madeira do jardim	Sim	Sim	Baixo	Moderado	Moderado
Fração de grama do jardim	Não	Não	Alto	Alto	Alto

Fonte: Adaptado de Forgie, Nager, Sasser (2004)

3.2.2 Tecnologias de compostagem

3.2.2.1 Sistemas de Baixa Tecnologia

Ideais para pequenas usinas de compostagem, essas técnicas podem gerar odores se forem mal operadas, mas demandam um investimento inicial modesto e sua operação e manutenção é a mais barata. As técnicas mais utilizadas são:

- Leiras sem sistema de aeração

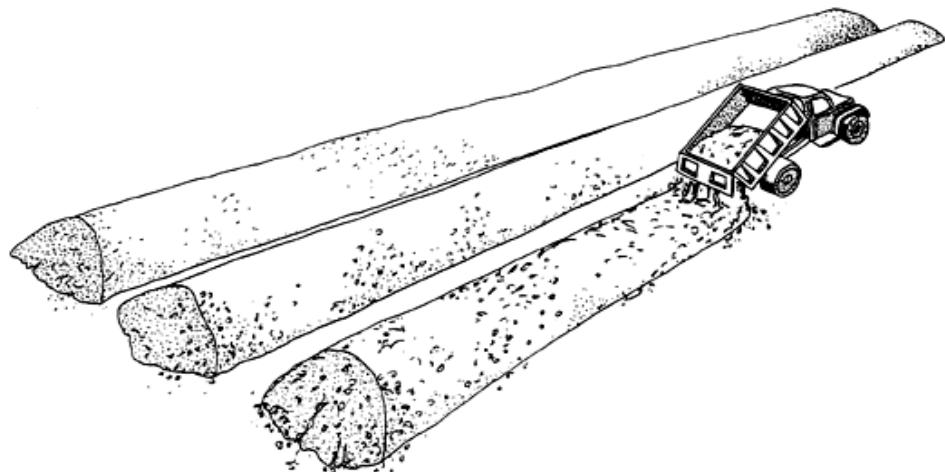
Alternativa de baixíssimo custo, que consiste em simplesmente deixar as leiras atuarem sem revolvimentos. Teoricamente, qualquer resíduo orgânico pode ser compostado por este método, mas são grandes as chances de ocorrer anaerobiose com geração de odor e proliferação de vetores.

- Leiras revolvidas manualmente

Também chamado de método *windowdow*, as leiras possuem formato prismático com seção triangular, trapezoidal ou semicircular, e a introdução do oxigênio nelas é feito através de revolvimentos periódicos com equipamentos de pequeno porte, de trato manual, como pás. O local deve passar por um tratamento de impermeabilização anterior a implantação, com um sistema de drenagem de águas superficiais quando necessário. É necessário que as leiras contem com um reservatório impermeabilizado, para contenção dos líquidos que entraram em contato com as leiras, e que possa servir como fonte de água para repor a umidade nas leiras. Este método pode ser alimentado com resíduos orgânicos que passaram pelas fases de pré-compostagem para garantir a qualidade da matéria-prima. A Figura 11 ilustra a tecnologia *windowdow*, o mais conhecido e utilizado método de compostagem.

Figura 11 - Formação das leiras tipo *windrow*

Formação das leiras



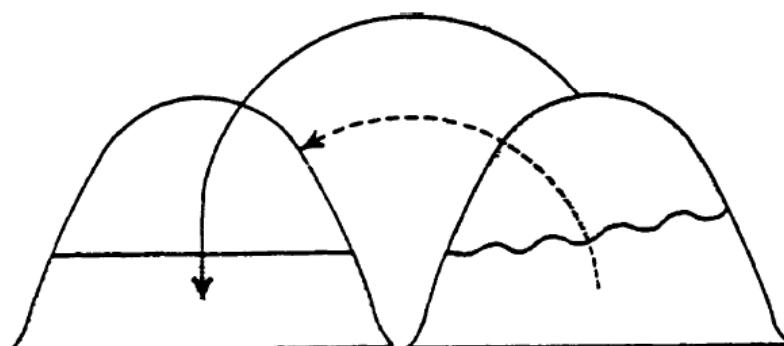
Fonte: On-Farm Composting Handbook (NRAES-54) (1992)

O revolvimento das pilhas deve ser feito conforme a Figura 12 ilustra, sempre mantendo em mente a preocupação com os fatores que afetam a compostagem citados anteriormente.

Figura 12 - Revolvimento das leiras

Revolvimento das leiras

Suspender o composto com a pá carregadora e deixar cair como uma cascata no novo local



O princípio desta técnica está em mover a parte superior de uma pilha para o local de uma nova pilha, misturando bem o composto.

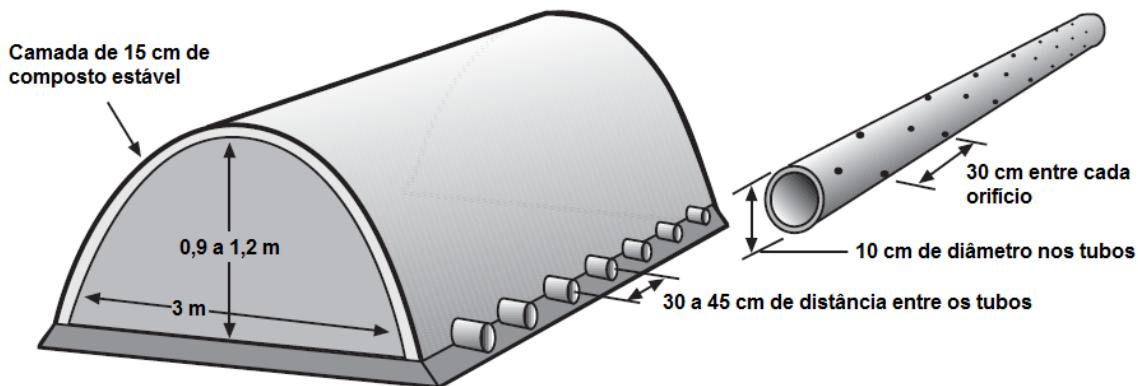
Fonte: UConn CES, (1989)

- Leiras estáticas com aeração passiva

Para este método as leiras são formadas da mesma maneira, exceto que abaixo delas ficam posicionados tubos com diversos furos no seu comprimento. Esses tubos serão responsáveis pela aeração no interior da leira, que não será revolvida neste método. A Figura 13 ilustra como os tubos são posicionados neste método. O fluxo de ar deve ocorrer naturalmente, com a colaboração apenas da diferença de temperatura entre o interior da leira e o ambiente externo.

Figura 13 - Aeração passiva

Leiras estáticas com aeração passiva



Fonte: NRAES, (1992)

3.2.2.2 Tecnologia Intermediária

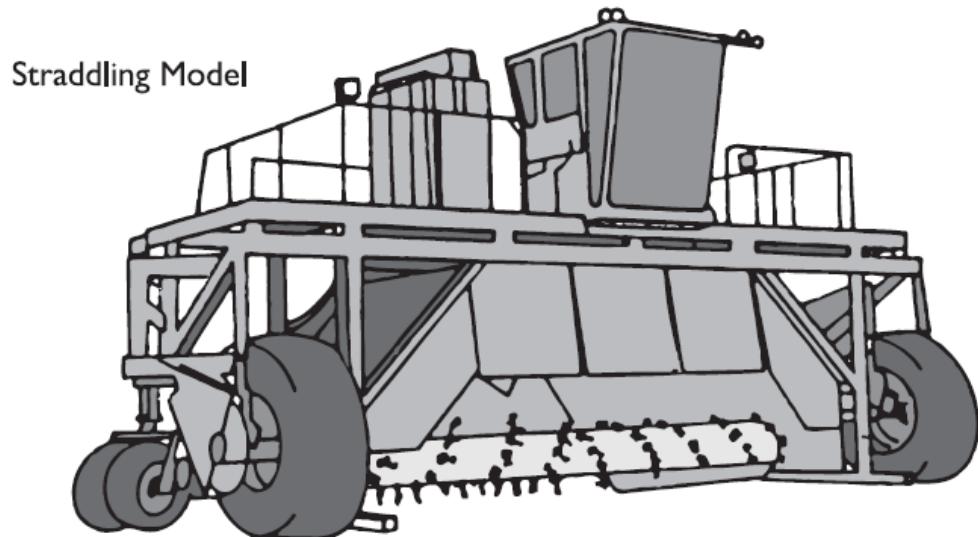
Para usinas de compostagem de pequeno e médio porte, que demandam uma eficiência maior no processo e tem a possibilidade de obter um grau de investimento mais elevado, as tecnologias intermediárias são adequadas.

- Leiras revolvidas mecanicamente

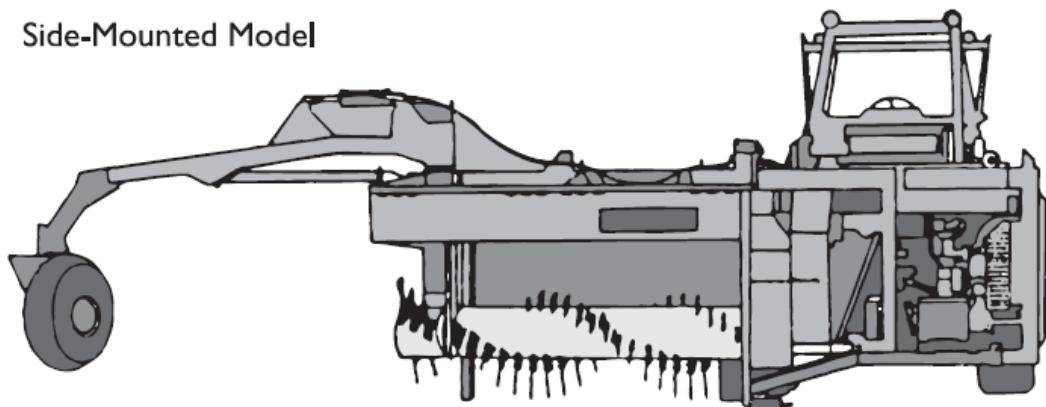
Para melhorar o processo de revolvimento das leiras, foram desenvolvidos equipamentos específicos que revolvem as pilhas propiciando uma quantidade de oxigênio de maneira eficiente, demandando menos espaço entre as leiras e com maior rapidez. A Figura 14 mostra alguns equipamentos que existem no mercado.¹

¹ No mercado brasileiro, ainda não temos acesso a todos os equipamentos de forma fácil.

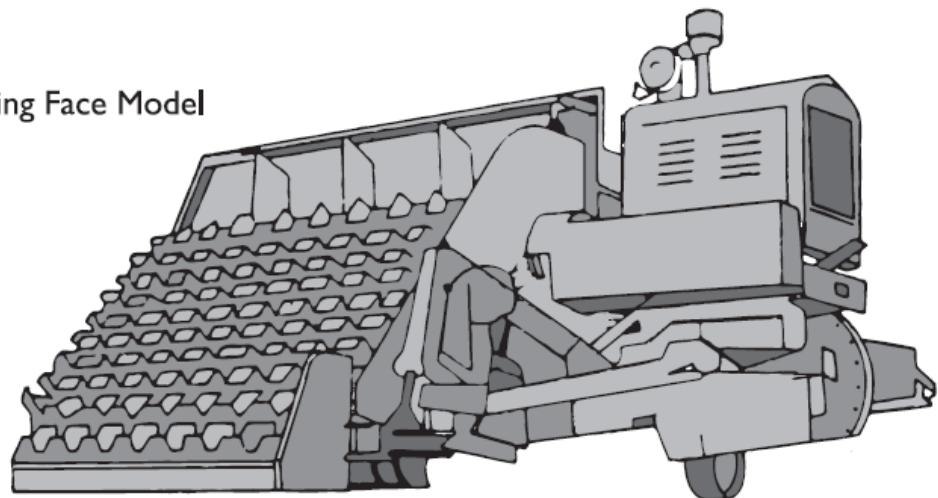
Figura 14 - Equipamentos para revolver leiras mecanicamente



Side-Mounted Model



Elevating Face Model



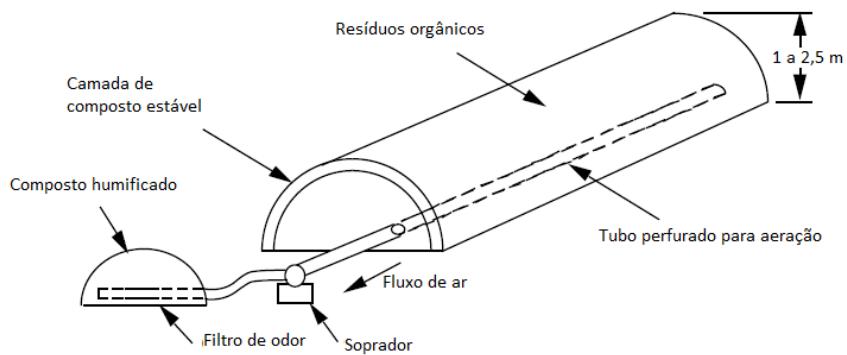
Fonte: May e Simpson, (2009)

- Leira estática com aeração forçada

A implantação desta tecnologia é bem semelhante à aeração passiva das pilhas. A diferença fundamental está na injeção ou sucção do ar através de bombas, que geram uma diferença de pressão maior para colaborar com o fluxo de ar. Apesar de um pouco mais cara, sua eficiência é evidentemente maior, e o tempo necessário até o composto se estabilizar é reduzido. Uma ilustração do seu funcionamento está na Figura 15.

Figura 15 - Aeração ativa de leiras estáticas

Leira estática com aeração forçada



Fonte: P. O'Leary, P. Walsh and A. Razvi, University of Wisconsin-Madison Solid and Hazardous Waste Center, reprinted from Waste Age Correspondence Couse (1989-1990)

3.2.2.3 Alta Tecnologia

Para usinas de compostagem de grande porte, que recebam resíduos de diversos geradores existem tecnologias avançadas de tratamento. A mais comum é a compostagem em sistemas fechados (*in-vessel*).

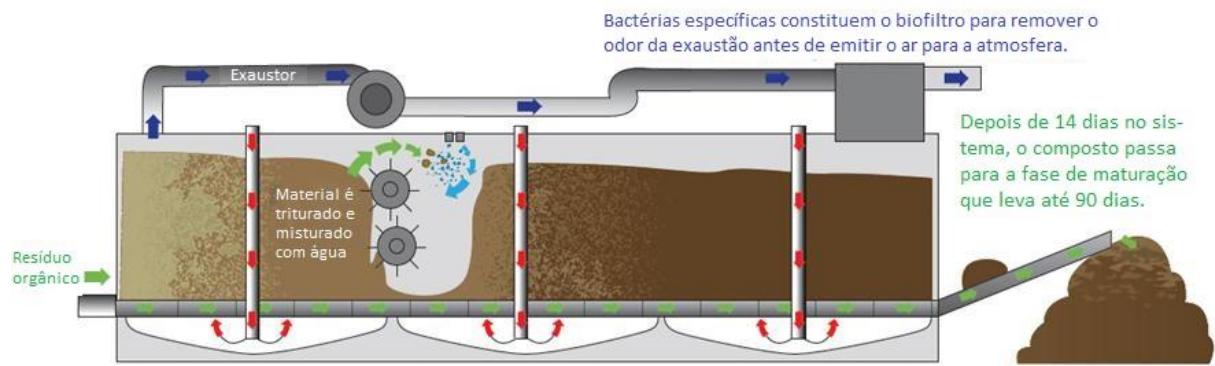
- Compostagem em sistemas fechados (*in-vessel*)

A grande vantagem desta tecnologia é que ela depende muito pouco das fases de pré-compostagem. Ela envolve uma variedade de etapas técnicas, incluindo a redução do tamanho das partículas do material de entrada, agitação mecânica, a mistura, revolvimento contínuo com digestor, aeração forçada, em seguida, formação em leiras para a decomposição final. O processo ocorre em um digestor que está alojado em uma estrutura em formato de tubo e pode produzir composto em poucas semanas. Esta tecnologia é utilizada principalmente para a

compostagem da parte orgânica dos resíduos sólidos urbanos, pois para outros tipos de resíduos, existem tecnologias mais acessíveis e baratas. Outra vantagem desta tecnologia é que exige uma equipe pequena de trabalhadores em relação a sua capacidade de processamento. A Figura 16 apresenta um tipo de tecnologia de compostagem in-vessel.

Figura 16 - Composteira *in-vessel*

Composteira *in-vessel*



A tecnologia *in-vessel* controla a temperatura, aeração e umidade para acelerar a decomposição do resíduo orgânico.

Fonte: Universidade de Ohio

3.2.2.4 Vantagens e Desvantagens de cada tecnologia

A Tabela 3 consolida as principais vantagens e desvantagens das tecnologias discutidas anteriormente:

Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens de cada tecnologia [continua]

	Vantagens	Desvantagens
Leiras revolvidas manualmente	Não é necessária energia elétrica. Equipamentos típicos de uma fazenda podem ser utilizados. O revolvimento mistura e reduz a necessidade de triagem e separação posterior. Com a redução das partículas o processo ocorre mais rapidamente.	Trabalho intensivo. Áreas extensas são necessárias. Pode ocorrer perda de nitrogênio por evaporação de amônia. Não possui equipamento de controle de odor. Influenciado pelo clima. Em alguns casos pode necessitar de pré-tratamento.
Pilhas estáticas	Necessita de menos nitrogênio do que a leira revolvida. Equipamentos típicos de fazenda podem ser utilizados. Tratamento mais barato.	Picos de trabalho na montagem e desmontagem das pilhas. Menos opções de melhoramento. O material deve ser bem misturado e dimensionado desde o início para evitar odores e proliferação de vetores. Em alguns casos pode necessitar de pré-tratamento.

	Vantagens	Desvantagens
Leiras de Aeração Passiva	Não necessita energia elétrica, nem mão-de-obra qualificada. Operação simples. Investimento inicial baixo.	Tratamento lento, com risco de anaerobiose e geração de odor. O material deve ser bem misturado e dimensionado desde o início para evitar odores e proliferação de vetores. Em alguns casos pode necessitar de pré-tratamento.
Leiras com Aeração Forçada	Odores podem ser coletados e tratados. Controle de qualidade mais rigoroso. Destrução mais eficiente de patógenos. Facilmente automatizado. Processo mais rápido. Menos área é necessária, já que as pilhas podem ser maiores.	Energia elétrica é necessária. Picos de trabalho na montagem e desmontagem das pilhas. Menos opções de melhoramento. O material deve ser bem misturado e dimensionado desde o início para evitar odores e proliferação de vetores. Em alguns casos pode necessitar de pré-tratamento.
In-vessel	Trabalho reduzido. Independe do clima. Controle de qualidade mais rigoroso. Compostagem acelerada. Menos área de terra necessária. Consistência na qualidade do produto. Sistema fechado reduzindo o potencial de contaminação. Pode receber qualquer tipo de orgânico sem a etapa de pré-compostagem.	Processo caro. É necessária experiência de operação e manutenção. Demanda mão-de-obra especializada.

	Vantagens	Desvantagens
Leiras revolvidas mecanicamente	<p>Grande eficiência no tratamento. Reduzido tamanho necessário para revolvimento em comparação ao revolvimento manual.</p> <p>Pouco risco de geração de odor.</p>	<p>Investimento mais elevado quando comparado ao revolvimento manual. Pode gerar poluição do ar se o composto não estiver com umidade adequada. Demanda mão-de-obra qualificada para operação e manutenção do maquinário. Em alguns casos pode necessitar de pré-tratamento.</p>

Fonte: autores

3.2.3 Maturação

Na fase de maturação, as leiras já reduziram significativamente o seu tamanho e precisam ficar completamente estáveis para o uso final. Durante a maturação o composto torna-se biologicamente estável, com atividade microbiana ocorrendo em um ritmo mais lento do que durante a compostagem. (USEPA, 1995). Para esse processo a aeração pode ser forçada por tubos, pode ser passiva por tubos ou sem eles, e pode ser auxiliada com revolvimento ocasional. Nesta fase o calor no interior das pilhas deve diminuir, mas nem sempre o resfriamento da pilha significa sua estabilização. A maturação pode demorar de alguns dias a vários meses. (USEPA, 1995). Segundo Bidone e Povinelli (2010) a maturação deve levar de 30 a 60 dias.

3.3 Implantação de uma unidade de compostagem

Dependendo do tamanho da operação, a compostagem poderá ser feita em níveis tecnológicos escalonados, indo desde o mais baixo (passivo), passando pelo intermediário (com algum auxílio de equipamentos especializados) até o final (totalmente automatizado).

Independentemente do nível de complexidade da operação, a etapa de implantação de uma usina de compostagem deverá ser feita de maneira adequada e segura. Segundo Forgie, Sasser e Neger (2001), para tal é necessário verificar as seguintes condições, incluindo, mas não limitadas, à:

- Carga de vento;
- Carga estática realizada pelos materiais usados na construção da usina, bem como pelos equipamentos de compostagem e dos materiais armazenados no local;
- Carga dinâmica dos equipamentos de compostagem (p. ex. Pás Carregadeiras);
- Corrosão devido ao escoamento dos insumos, do processo de compostagem e do processo de evaporação dos gases liberados durante a compostagem;
- Proteção contra incêndio;
- Ventilação para evitar corrosão nas construções devido ao excesso de umidade e proteger os funcionários de gases, odores e esporos microbianos.

Cumprindo todas as recomendações de saúde, segurança e meio ambiente, a construção da usina deverá ser feita subsequentemente a essa verificação e em conjunto com o proprietário ou operador de forma a acertar o projeto de construção da usina anteriormente à construção da mesma. Assim, Forgie, Sasser e Neger (2001) definem as especificações de construção de uma usina de compostagem como a seguir:

- (a) Tudo deverá ser construído dentro do perímetro da usina;
- (b) Capacidade de projeto da usina de compostagem;
- (c) Um plano de gestão de lixiviados que estipula como os lixiviados, em qualquer estágio do processo de compostagem, serão mitigados, acondicionados, tratados e dispostos;
- (d) Um plano de gestão de odores que estipula como contaminantes aéreos advindos do processo de compostagem serão descartados sem que isso polua;
- (e) Um plano de operação e encerramento do projeto.

Adicionalmente a estas especificações, vale ressaltar que as principais causas de ineficiência e subsequente interrupção das operações dos pátios de compostagem são os odores e os fatores econômicos. Assim, estes fatores devem

ser constantemente revisitados ao longo da construção e operação para o sucesso da empreitada.

Outro fator determinante na longevidade da usina é a localização. A definição do local da operação deve levar em conta algumas condicionantes, definidas por Forgie, Sasser e Neger (2001) como a seguir:

- (a) Métodos de compostagem e equipamentos – Devem ser definidos com base em uma revisão completa das condições regulatórias, condições do local e os tipos de insumo.
- (b) Topografia – Afetará a capacidade de drenagem do local, visibilidade das instalações e potencialmente os movimentos dos odores gerados.
- (c) Vizinhança – Proximidade com estabelecimentos comerciais, residências, escolas, hospitais e corpos d'água. Estes fatores podem acarretar impactos ambientais, por isso a elaboração de um EIA pode ser vantajosa, mesmo se o tamanho da operação não justificar a aplicação de um.
- (d) Área envoltória de segurança para odores, ruídos e controle de poluição – meio através do qual tais impactos poderão ser mitigados ou até evitados.
- (e) Vetores – Inclui moscas, ratos, camundongos, animais de maior porte, dentre outros possíveis vetores de doença, dependendo do insumo. Por exemplo, resíduos de poda apresentam menor risco à presença de vetores do que resíduos de alimentos.
- (f) Incêndio – Uma vez que, no passado, as usinas já causaram incêndio, colocando em risco toda a operação, manter uma área envoltória das árvores é prudente.
- (g) Padrões de circulação de veículos – O acesso às instalações deve ser fácil, suficientemente largo e pavimentado através de áreas não-residenciais.
- (h) Distâncias a partir do e para o local onde os insumos são gerados – estes valores devem ser minimizados a fim aumentar a eficiência operacional e financeira.
- (i) Espaços necessários para armazenagem de matéria-prima, maturação, armazenagem do composto final, medidas de controle de odores e lixiviados.

Por fim, é necessário se preocupar com as questões de odor, tráfego, ruído, poluição de corpos d'água e sanitárias com eventuais proprietários locais.

A seguir, as etapas mais relevantes serão descritas de modo detalhado.

3.3.1 Diagnóstico dos tipos de insumo

Nesta etapa, deverão ser reunidas informações sobre a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e a forma de destinação e disposição final.

3.3.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Para o planejamento de uso de resíduos sólidos urbanos é preciso uma separação e triagem mais rigorosa devido a sua elevada heterogeneidade, tanto de tamanho, como de umidade e nutrientes. Esta etapa é comumente a mais cara do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos.

A triagem e separação podem ser feitas manualmente ao longo das esteiras transportadoras ou mecanicamente através de sistemas magnéticos. No mecanismo manual, operadores ficam posicionados ao longo da esteira e recolhem todo material não-compostável (vidros, metais e etc.) para dentro de compartimentos que devem ser facilmente transportados dentro do pátio de pré-compostagem. No mecanismo automático, imãs magnéticos fazem a separação dos materiais ferrosos. Esta etapa deve ser complementada com a triagem e separação dos materiais não-ferrosos.

Após a separação e triagem de resíduos não-compostáveis e compostáveis, será feita a redução do tamanho da matéria-prima com o objetivo de aumentar a relação superfície de contato/volume, o que aumenta a eficiência do processo, pois os micro-organismos têm maior área de atuação. Contudo, a diminuição excessiva do composto pode comprometer a circulação de ar na pilha prejudicando a eficiência do processo. Assim o perfeito equilíbrio entre a redução do composto sem prejudicar a circulação do ar através da matéria-prima definirá o ponto ótimo de compostagem.

Assim, a redução do tamanho da pilha homogeneizará a matéria-prima, obtendo maior uniformidade de umidade e nutrientes. Neste procedimento podem ser utilizados martelos, trituradores de cisalhamento ou tambores rotativos. Em alguns casos, compostos inflamáveis podem estar presentes provocando explosões durante o processo de redução, desse modo, uma inspeção visual pode mitigar esses efeitos. Todavia, equipamentos de redução devem ser isolados em uma área à prova de explosões.

3.3.1.2 Resíduos de poda, remoção de árvores e jardinagem

Para o planejamento de uso de resíduos de arborização na compostagem – galhos, sementes, folhas, flores e frutos – é preciso conhecer as características da arborização do local: quais são os tipos e ocorrência das espécies, frequência de poda e da remoção e características dos resíduos do ponto de vista de seu melhor aproveitamento. Também é importante levar em conta as demandas sazonais em épocas de quedas de árvores devido a ventos fortes, raios, etc.

Deve ser levado em consideração, por exemplo, que existem galhos mais grossos e troncos que não podem ser diretamente direcionados para a compostagem, pois isso prejudicaria a eficiência do processo. Na caracterização dos resíduos, deve-se determinar, também, a densidade da madeira, o teor de umidade, a cor, a quantidade de carbono fixo, pois são variáveis que podem indicar como os resíduos podem ser aproveitados. Particularmente para o composto são indicados o uso de pequenos galhos, folhas, frutos e flores.

Assim, para realizar a triagem e separação dos resíduos de poda, com auxílio de uma esteira transportadora, ou mesmo durante o peneiramento, os operários podem, manualmente, fazer a seleção entre os resíduos não-compostáveis e compostáveis.

Essa forma de abordagem do uso de material de poda e remoção de árvores permitirá um manejo mais inteligente, com melhores resultados e menor custo operacional.

Outros aspectos a serem abordados no diagnóstico dizem respeito aos procedimentos e operações realizadas para a execução dos serviços, destinação dos resíduos, características da mão de obra que realiza os serviços, custos para realização da poda e remoção, existência de contratos para a realização dos serviços, órgãos envolvidos na operação, recursos empregados e legislação local.

Em muitos casos as atividades apresentam sazonalidade que precisa ser contemplada no diagnóstico.

3.3.2 Zona envoltória de segurança (*Buffer*)

As zonas envoltórias de segurança, ou zonas de buffer, servem para minimizar os impactos causados por odores, ruídos e lixiviados. Basicamente são áreas sem atividades que separam, em todo seu perímetro, isolando o local onde ocorre a compostagem do restante da região. Tais zonas podem ser constituídas por vegetação, arbustos ou árvores servindo de barreira visual à usina de compostagem, para o controle do acesso de veículos e até para a redução dos ruídos gerados pela operação. A Tabela 4 apresenta as recomendações para zonas de entorno de pátios de compostagem para diferentes usos de solo.

Tabela 4 – Distâncias mínimas de *buffer* para uma unidade de compostagem

Distância do local da operação para:	Distância mínima de <i>buffer</i> recomendável (metros)
Limite de propriedade	15-30
Área residencial	400-1000
Hospitais	800-2000
Áreas turísticas	400-1000
Fazendas	100
Área comercial ou industrial	100-300
Poço artesiano ou outra fonte de água potável	150
Áreas alagadas, lagoas, lagos, córregos e etc.	150-300
Tubulação de drenagem subterrânea ou poço de drenagem descarregando em uma fonte de água natural	30
Lençol freático	0,6-1,5
Escudo rochoso	0,6-1,5

Fonte: Forgie, Sasser e Neger (2004)

3.3.3 Áreas alagadas e planícies de inundação

Implantar uma unidade de compostagem próxima a uma área alagada é contraindicado pela legislação em geral. Nesse sentido, áreas de compostagem não devem estar localizadas onde a altura máxima do lençol freático não fique a menos de um metro do nível do solo, porque lençóis freáticos muito próximos à superfície podem ser contaminados por lixiviados.

Adicionalmente, a inundação das leiras pode criar ambientes anaeróbios e causar problemas com odor e uma baixa taxa de decomposição.

Tendo em vista estas consequências, um mapa de inundação da região onde se deseja implantar a unidade deve ser consultado.

3.3.4 Drenagem

Existem três fatores que influenciam a drenagem no local da usina: o controle da entrada (*run-on*), o controle do escoamento (*runoff*) e o tratamento dos lixiviados. Entende-se por entrada, a água de chuva limpa e descontaminada gerada fora do local da compostagem e por escoamento a água, proveniente de chuvas, limpa e descontaminada que escoa a partir do local da usina. Já o lixiviado é uma água contaminada que resulta do contato da água de chuva com a matéria-prima em processo de compostagem.

O controle do *run-on* deve ser feito através de um sistema de drenos que direciona a água coletada para longe das instalações de compostagem. A água de *runoff* pode ser percolada no solo, uma vez que é limpa e descontaminada por definição. Por fim, as áreas sujeitas às aguas de *runoff* que estiverem em contato com os compostos em decomposição devem ser impermeabilizadas e possuírem drenos de captação destes lixiviados.

Por definição, segundo Forgie, Sesser e Neger (2004), uma superfície impermeabilizada é aquela que possui uma taxa de impermeabilização menor que 1×10^{-7} . Tipicamente, os materiais utilizados para impermeabilização são argilas compactadas, asfalto, concreto armado, concreto compactado e geossintéticos.

Além disso, recomenda-se o que o local de implantação tenha um pequeno declive (1% - mínimo e 2-4% recomendável). Locais muito planos podem acumular

poças de água de escoamento e de lixiviados. O declive deve ser feito de tal maneira que todo o escoamento siga em direção a um ponto central de drenagem para eventual reuso, tratamento ou disposição da água. É possível que seja necessário algum nível de terraplenagem no local antes do início da obra, bem como manutenção anuals de terraplenagem para garantir que o declive está nos níveis adequados, prevenindo erosões e mau funcionamento de alguns equipamentos.

3.3.5 Serviços públicos no local de operação

Deve-se observar se o local de implantação possui acesso aos seguintes tipos de serviços públicos:

- Eletricidade;
- Telefonia;
- Tratamento de esgoto doméstico;
- Água encanada ou poço.

Eletricidade é necessária para operação adequada de determinados equipamentos como sopradores de leiras aeradas, esteiras transportadoras, misturadores, etc.

As instalações da usina podem precisar de alguma fonte de água, apesar de que muitas vezes a matéria-prima não precisar ser umedecida. Contudo, durante estações quentes, água pode ser necessária para controle de poeiras, proteção contra incêndio e lavagem dos equipamentos. Tal fonte pode ser tanto do sistema de distribuição municipal, quanto de um eventual poço artesiano no local. Como parte de um programa de economia de água, o reuso das águas de *runoff* ou *runon* pode ser estabelecido. Algum tipo de reaproveitamento do lixiviado também pode ser aplicado tomadas as devidas precauções.

3.3.6 Proteção contra incêndio

As instalações devem ter um sistema de proteção a incêndios, uma vez que a matéria-prima a ser decomposta é seca e que já houve casos reportados de incêndio em usinas de compostagem.

Tipicamente, o composto é pouco inflamável por conter alguma umidade interna. Ainda assim, ele pode entrar em combustão espontaneamente. Normalmente, ignições espontâneas ocorrem quando as pilhas possuem umidade na faixa dos 20-45% e são posteriormente ativadas por atividade microbiana.

O plano de combate a incêndios deve incluir, mas não estar limitado, à:

- Um suprimento prontamente disponível de água pressurizada completo, contendo acesso a fontes públicas de água, mangueiras e eventualmente algum sistema de *sprinklers*;
- Um arruamento acessível pelos equipamentos de combate a incêndios;
- Corredores separando as leiras que permitem o fácil acesso e o impedimento da passagem do fogo entre as pilhas;
- Distâncias de segurança entre materiais inflamáveis;
- Acesso por equipamentos de terraplenagem como pás-carregadeiras, escavadeiras, dentre outros.
- Uma reserva de solo para abafar focos de incêndio em substituição à água.

3.3.7 Acesso de veículos

O acesso de veículos deve ser planejado e executado de forma a atender todos os tipos e tamanhos de veículos que possivelmente accessem a usina. Tal programa deve ser executado seguindo, mas não se limitando, à:

- Construir arruamentos específicos para veículos grandes comerciais e veículos pequenos domésticos;
- Fornecer espaço adequado e suficiente para manobras e saídas dos veículos sem que isso interfira nos equipamentos de compostagem;

Devido ao intenso tráfego de grandes equipamentos, uma rede de arruamentos, possivelmente pavimentados, é recomendada para que se acesse o local da usina independente do clima. É altamente recomendado que se crie uma sinalização adequada caso a usina possua uma rede de estradas. Além disso, o acesso deve ser controlado para não haja disposição ilegal de resíduos nas leiras.

3.3.8 Odores

Este talvez seja o problema mais comum quando se implanta e opera uma unidade de compostagem. Por mais que uma usina de compostagem, em teoria, só produza odor se mal operada, na prática ela não está livre por completo de odores, mesmo assim ela não deve, em hipótese alguma, produzir odores ofensivos. Para isso, existem algumas técnicas como uma limpeza eficiente e a eliminação de fontes de odores – como insumos úmidos ou poças d’água – que podem resolver o problema e são relativamente baratas de serem aplicadas. Se os odores forem persistentes, algumas tecnologias para remoção de odores poderão ser implantadas.

Adicionalmente, o controle de odores ajuda a reduzir a dispersão de bio-aerossóis que eventualmente contenham patógenos.

Odores podem ser transmitidos pelo ar na forma de gás, mas também pode ser transportado adsorvido em partículas de poeira. Normalmente, tendem a persistirem em ambientes úmidos e sem vento, e tendem a se dissipar em ambientes secos, quentes e com vento.

As pessoas submetidas a ambientes malcheirosos costumam ser sensíveis em diferentes níveis a odores frequentes, persistentes, duradouros ou ofensivos. Normalmente, as pessoas tendem a aceitar melhor odores frequentes ou intensos, mas que não persistam no ar ou que não sejam ofensivos. Segundo Forgie, Sasser e Neger (2004), as pessoas não tolerarão odores persistentes e duradouros.

3.3.8.1 Compostos geradores de odor

Normalmente, os compostos geradores de odor aparecem se as condições de operação do sistema não forem atendidas. Os compostos responsáveis pela liberação de odores são muitos, mas os principais são os seguintes: compostos contendo enxofre reduzido, ácidos graxos, amônia e compostos nitrogenados. Além das condições de operação do sistema, a temperatura externa pode criar condições anaeróbias e, consequentemente, produzir odores. Assim, a presença de odores é mais comum no verão.

3.3.8.2 Estratégia de controle de odores

Todo operador de uma unidade de compostagem deve ter consciência das possíveis fontes de odor da usina. Incluindo os tipos, as condições que potencialmente levam à sua produção, as práticas que os mitigam e o impacto potencial que isto terá na vizinhança.

Existem várias maneiras de se identificar problemas com odores, a seguir destacamos as principais:

- Experiência em usinas semelhantes;
- Medidas de geração de odores;
- Modelagem de odores;
- Monitoramento das fontes de odor.

3.3.8.3 Principais aspectos relacionados aos odores

O processo de compostagem pode levar à geração de odores. Apesar de existirem muitos aspectos relacionados a esta produção, os quatro aspectos a seguir, já detalhados anteriormente, são os principais:

1. Degradabilidade do composto;
2. Aeração (tamanho da partícula/pilha);
3. Temperatura;
4. Umidade.

3.3.8.4 Procedimentos recomendáveis na gestão de odores

O procedimento mais completo para mapear o potencial de produção de odores da usina é desenvolvendo um modelo computadorizado para simular as emissões de odor da unidade a ser implantada. Este processo é recomendável, mas não obrigatório e vai depender do potencial de impacto analisado nos estudos ambientais. Os operadores da usina devem ter consciência das diversas tecnologias de controle de odores disponíveis. Estas estão listadas a seguir:

- Biofiltros;
- Lavadores químicos;

- Destrução térmica catalítica;
- Radiação UV (tecnologia mais recente);
- Supressão química de odores.

Além disso, é recomendável que o operador registre todas as reclamações recebidas em um livro e distribua para a população relatórios com reclamações e opiniões para que exista um meio adequado e formalizado.

3.4 Operação

Segundo o manual de Forgie, Sasser e Neger (2004), planos de operação da usina são exigidos pelas diretrizes da OMRR (*Organic Matter Recycling Regulation*) e incluem, mas não estão limitados aos seguintes:

- Critérios de projeto: Estabelece a capacidade, função e dimensionamento de todos os sistemas utilizados na compostagem e nos serviços auxiliares;
- Gestão interna de resíduos sólidos: Define a quantidade e o tipo de resíduo a ser decomposto; como o insumo será medido (volume ou peso); como será manuseado desde a chegada até o armazenamento; o fluxo de material dentro da unidade; procedimentos de gestão para picos e baixas no fluxo de material; procedimento de prevenção à contaminação cruzada de matérias-primas ou compostos já finalizados.
- Modelo e frequência das inspeções/monitoramento que serão realizados e registros destes eventos: Detalhar como as matérias-primas serão inspecionadas e como diferenciar entre insumos aceitáveis e não aceitáveis.
- Plano de controle da qualidade do ar: Deverá descrever os procedimentos para prevenção e mitigação de problemas relacionados a poeiras e fumaças de equipamentos.
- Plano de controle e gestão de vidas selvagens: Detalhar a gestão e o controle de pássaros, roedores, vetores e etc.
- Procedimentos de segurança para operação de equipamentos: Descreverá os tipos de equipamentos utilizados na unidade e os procedimentos de

segurança necessários para a adequada operação dos equipamentos. Incluirá também procedimentos de manutenção e um plano de ação para eventuais falhas na operação destas máquinas.

- Treinamentos de funcionários: Descreverá como os funcionários serão treinados a respeito do processo de compostagem e a operação da usina.
- Plano de segurança: Detalhará os procedimentos de segurança para funcionários e visitantes. Incluirá o detalhamento de eventuais EPIs.
- Plano de emergência: Se restringirão ao plano de incêndio e a contaminações ambientais. Promoverá procedimentos de emergência, incluindo contatos necessários nestes casos.
- Plano de manutenção da usina e dos equipamentos: Promoverá a manutenção das instalações e dos equipamentos em sua melhor forma, através da manutenção preventiva frequente. Determinará como cada equipamento será mantido e quanto frequente estas manutenções serão feitas.
- Plano de relacionamento com a comunidade: Demonstrará para a vizinhança afetada pela usina como os problemas serão abordados unidade.

3.5 Composto final e seus usos

O produto final obtido após o adequado processo de compostagem é um composto rico em matéria orgânica (substâncias húmicas), estável, com a presença de nutrientes minerais. Essas características fazem do composto em questão ideal para o uso agrícola, como condicionador de solos e fonte de macronutrientes e micronutrientes para qualquer tipo de cultura. A seguir estão listados os principais benefícios da aplicação do produto da compostagem no solo.

- Melhoria da estrutura do solo;
- Melhor aeração do solo;
- Aumento da capacidade de absorção de água;
- Aumento da estabilidade do pH;
- Melhor aproveitamento dos fertilizantes minerais;

- Reduz a necessidade de fertilizantes químicos;
- Aumento na disponibilização de micro e macro nutrientes, que, na matéria orgânica bruta permanecem imobilizados, na forma estabilizada (pós compostagem) passam a estar solúveis, portanto totalmente assimiláveis pelas plantas;
- Ativação substancial da vida microbiana;
- Efeito controlador sobre doenças e pragas de plantas.

Entretanto, o uso agrícola não é o único hoje possível para o material resultante da compostagem, testes e experiências feitas recentemente mostram novas alternativas de aplicação do composto.

Um uso possível é a utilização do composto final como material filtrante de gases industriais de empresas que manipulam matéria orgânica, evitando mau cheiro e poluição atmosférica.

Porém há especificações para cada tipo de uso final do composto. Cada um dos usos demanda características específicas e únicas do produto para resultado satisfatório; teor de umidade, densidade aparente, pH, tamanho das partículas, liberação de O₂ e CO₂ são exemplos de parâmetros fundamentais para direcionar os usos adequados para o composto resultante do processo. Na Tabela 5, as possíveis utilizações e seus respectivos valores determinantes estão apresentados.

Tabela 5 – Características do composto e seus respectivos usos

Característica	Unidade	Média para envasamento	Teor para cobertura	Paisagismo	Cultura de vegetais	Recomposição de solo
Usos recomendado		Crescimento de sementes envasadas	Cobertura de gramado	Estabelecimento e manutenção de plantas paisagísticas	Cultivo de espécies vegetais	Recuperação e melhoria de solos degradados
Tamanho da partícula	mm	12	12	12	25	25
pH		5,0 - 7,2	5,5 - 8,0	5,5 - 7,2	5,0 - 8,0	5,5 - 8,5
Taxa de umidade	%	35 – 55	35 - 55	35 - 55	35 - 55	35 - 55
Retenção de água	%	100 – 200	100 - 200	100 - 200	100 - 200	100 - 200
Densidade aparente	kg/m ³	475 – 600	475 - 600	475 - 600	475 - 600	475 - 600
Taxa de O ₂	mg/kg/h	< 200	< 200	< 200	< 200	< 400
Taxa de CO ₂	mg/g/dia	5	5	5	5	10
Elementos traço/ Metais pesados		Não deve exceder os valores de referência da Agência ou Órgão Ambiental	Não deve exceder os valores de referência da Agência ou Órgão Ambiental	Não deve exceder os valores de referência da Agência ou Órgão Ambiental	Não deve exceder os valores de referência da Agência ou Órgão Ambiental	Não deve exceder os valores de referência da Agência ou Órgão Ambiental

Fonte: May & Simpson (2009)

Considerando então que, para cada utilização, se faz necessário um produto final de parâmetros distintos, o composto deve ser submetido a análises e testes laboratoriais para sua devida caracterização. A partir dos resultados das análises pode-se verificar o ajuste do composto ao seu uso esperado. Desse modo o produto tem sua qualidade determinada.

Além do fato acima citado, sobre a diferenciação no composto de acordo com seu uso, a segurança é outro ponto de fundamental importância. A utilização do húmus da compostagem implica, como em qualquer ação, um risco associado. Neste caso, se no composto final houver substâncias indesejáveis, como metais pesados, agentes patogênicos, substâncias tóxicas em geral, pode ser prejudicial a bens como: vegetação, águas subterrâneas, solo e saúde humana. A fim de mapear esses riscos e evitar potenciais efeitos negativos a análise laboratorial é ferramenta principal, a partir dela identifica-se a existência ou não de propriedades que acarretem problemas, esclarecendo se o produto pode ser usado normalmente.

Essa caracterização não pode ser feita apenas uma vez, as variáveis de influência no processo não são constantes, portanto o resultado final pode variar. Em vista disso, a qualidade do húmus deve ser monitorada frequentemente, garantindo a uniformidade do material.

Para que os testes forneçam resultados significativos, a amostra tem que ser altamente representativa, para isso, ela deve ser composta de pequenas amostras provenientes de regiões diferentes da leira. As análises mais comumente empregadas são as que determinam nutrientes e substâncias tóxicas (metais pesados são extremamente importantes), outros, para verificação de maturidade e estabilidade, como taxa de respiração e redução/oxidação, e parâmetros físico-químicos, como tamanho de partículas, pH e teor de umidade, também são aplicados.

4 LEVANTAMENTO DE DADOS

Os dados do local de estudo contidos neste trabalho foram baseados em visitas técnicas, dados fornecidos pela Associação e levantamento planialtimétrico do local. O grupo realizou uma visita técnica prévia para reconhecimento do local da Associação e para compreender melhor a rotina de geração de resíduos. Esta visita

foi monitorada pelo Diretor de Paisagismo e pelo biólogo da AELG, que estiveram sempre disponíveis para o fornecimento de dados e informações relevantes ao estudo. As informações quanto a necessidade de licenciamento e quais os documentos que seriam necessários para o processo foram coletadas na Cetesb e no DECONT, que são os órgãos ambientais que regularizam as questões de resíduos sólidos na cidade de São Paulo.

4.1 Descrição do potencial local para o pátio de compostagem

O local que foi escolhido *a priori* pelos representantes da Associação já possui uma planta planialtimétrica (Anexo I), onde se obtiveram dados físicos importantes para o dimensionamento da usina de compostagem, como área total, área útil, dimensões da área útil definida por um retângulo e a declividade do terreno. Os principais dados estão resumidos na Tabela 6.

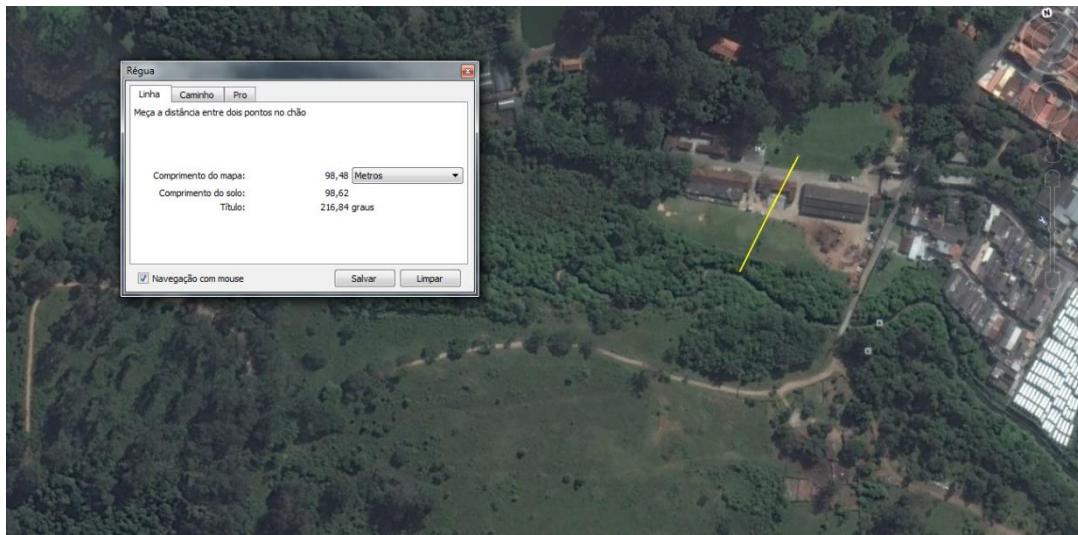
Tabela 6 - Dimensões do pátio de compostagem

Área total do pátio	4782,895 m ²
Área útil do pátio	2153,099 m ²
Dimensões do pátio	53,52m X 40,23m
Menor distância entre limite do pátio e córrego	98,62m
Menor distância entre limite do pátio e casas da Associação	71,26m
Menor distância entre limite do pátio e casas do bairro ao lado	43,17m
Declividade	5/53,9144 ~ 9,3%

Fonte: autores

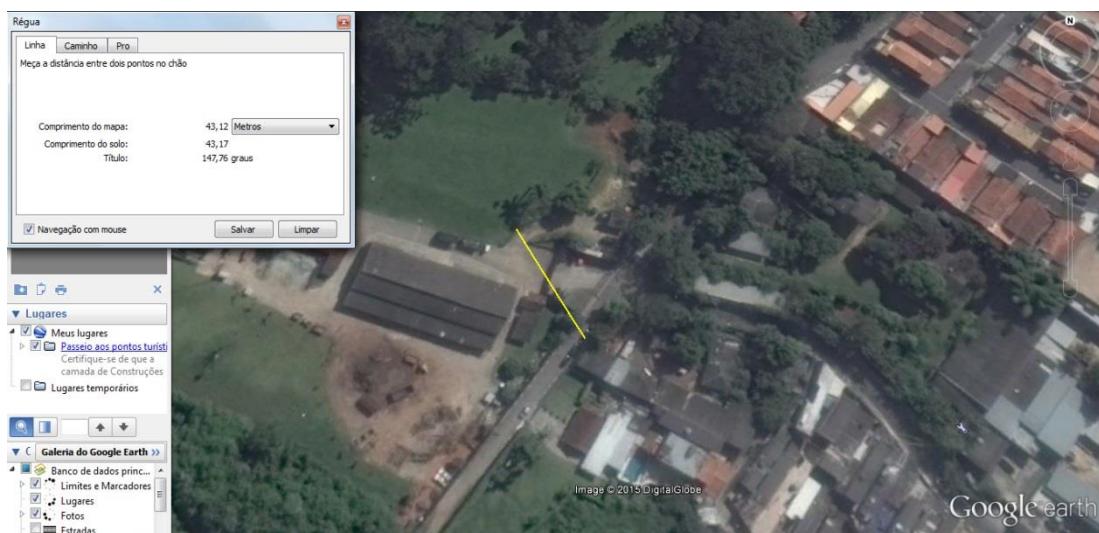
As distâncias entre os limites da área do pátio de compostagem e os outros elementos relevantes como casas de veraneio, residências e o córrego foram obtidas por meio do Google Earth, pois não estão contempladas no levantamento planialtimétrico disponível. A Figura 17, a Figura 18 e a Figura 19 apresentam o método de medição através da ferramenta do Google Earth chamada Régua. Os pontos de referência do local e seu endereço foram ocultos para preservar o anonimato da Associação.

Figura 17 - Menor distância entre os limites do pátio e o Córrego do Tanquinho



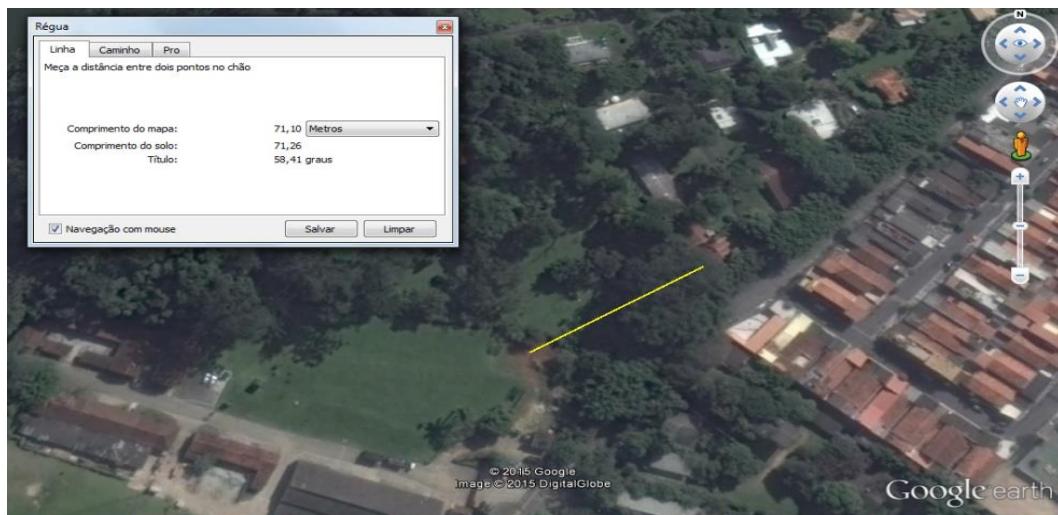
Fonte: Google Earth (2002)

Figura 18 - Menor distância entre o limite do pátio e uma residência



Fonte: Google Earth (2002)

Figura 19 - Menor distância entre os limites do pátio e uma casa da Associação



Fonte: Google Earth (2002)

Na visita técnica realizada no dia 26 de março de 2015, além de fotografias do local, dados da rotina de gerenciamento de resíduos sólidos e da própria Associação foram coletados. No potencial local da usina, não há atualmente nenhuma árvore ou arbusto, sendo a área coberta apenas por gramíneas. No perímetro da área da usina há arbustos e árvores de médio porte, além de uma via asfaltada a jusante com construções e uma caixa d'água.

4.2 Geração de resíduos orgânicos na AELG

Os principais geradores de resíduos orgânicos foram caracterizados quantitativamente e advém das seguintes atividades: poda de árvores, apara de gramas, alimentação e abrigo de equinos.

Os resíduos originados nas mais de 200 residências da Associação são separados na fonte e destinados pela coleta regular municipal. Estes resíduos não são controlados pela AELG e, portanto, não serão contemplados neste trabalho.

No caso dos resíduos orgânicos de restos de comida, a geração se concentra aos finais de semana, quando há atividade em todos os 7 restaurantes da AELG. Nos restaurantes existe uma separação entre resíduos orgânicos e recicláveis. Essa classificação, porém, não é totalmente adequada atualmente. Não foi feito nenhum tipo de treinamento para orientar os funcionários, e o resultado é um resíduo que não está pronto para compostagem e tão pouco para reciclagem. O controle desses

resíduos não é feito de forma regular, e os dados que pode-se utilizar para o estudo são médias estimadas pelo Diretor de Paisagismo da AELG. A geração de resíduos de restaurantes é estimada em 18 toneladas por mês o que equivale a, aproximadamente, 72 m³ por mês. Para simplificar, considera-se que a geração média se repete em todos os meses, não havendo sazonalidade para este gerador.

Conforme mencionado anteriormente, a Associação possui uma área de mais de 110 hectares, com quase 20% de sua área ocupada por vegetação nativa. O local possui um extenso campo de golfe, além de jardins e canteiros com impecável paisagismo. A Figura 20 e a Figura 21 ilustram o cenário atual da Associação, mantido por uma equipe de 48 funcionários dedicados a manutenção das áreas verdes, e mais uma equipe de 15 colaboradores especializados para o campo de golfe. A rotina de manutenção das áreas se concentra de segunda a quinta-feira, quando o local está mais vazio.

Figura 20 - Campo de Golfe



Fonte: autores

Figura 21 - Vista para a Guarapiranga da AELG



Fonte: Roberto Rabioglio (2014)

Através de equipamentos de varrição como sopradores e garfos, e pequenas caçambas, os resíduos de poda, jardinagem e varrição são recolhidos e controlados através da estimativa do volume de material coletado. As tabelas que contém os dados mensais desde dezembro de 2009² estão contempladas no Apêndice I.

O abrigo de equinos é a principal atividade do departamento hípico da Associação, com 110 cavalos mantidos para a prática de esportes e recreação. Através da visita técnica foi possível compreender a rotina de limpeza dos estábulos, que utiliza o feno para cobrir o chão do estábulo no intuito de proteger as patas do cavalo e facilitar a limpeza de fezes e urina do animal. A Figura 22 ilustra um dos estábulos do hípico, com o equipamento de limpeza do feno apoiado. Este equipamento em forma de garfo possibilita que as fezes e a urina que ficam fixas no feno sejam retiradas sem a necessidade de substituir todo o feno a cada limpeza.

² Com duas interrupções de dados: de janeiro a junho de 2011 e de janeiro a março de 2012.

Figura 22 - Estábulo no Depto Hípico - detalhe para o instrumento de limpeza à esquerda



Fonte: autores

Até 2008 o Departamento Hípico também gerava resíduos de saúde devido ao tratamento veterinário dado aos cavalos. A partir de 2009 esses resíduos passaram a ser coletados pela coleta municipal e deixaram de ser uma responsabilidade e preocupação da AELG.

No Anexo II, estão as tabelas de geração mensal de resíduos do Departamento Hípico desde dezembro de 2009.

Para incorporar a possibilidade de usar micro-organismos prontos a fim de acelerar o processo de decomposição da compostagem, deve ser feito um teste piloto para que seja possível mensurar a melhora no processo com a presença deles. Não foi possível ter acesso a dados específicos dos micro-organismos já cotados pela Associação para este fim.

4.3 Licenciamento

Após consulta da Associação enviada ao DECONT³, obteve-se a resposta de que o empreendimento não está sujeito ao licenciamento ambiental. Não foi enviada nenhuma consulta à CETESB, porém, no site da instituição é possível consultar uma lista básica de documentos necessários para licenciamento de uma usina de

³ A consulta não estará neste documento para preservar a identidade da Associação.

compostagem de acordo com a sua capacidade em toneladas por dia. A CETESB pode exigir outros documentos além da lista básica disponível do site dependendo da descrição do empreendimento.

Baseando-se no roteiro mínimo exigido pela CETESB para usinas de compostagem, contemplou-se no trabalho boa parte do que é necessário tanto para fins de projeto quanto para o licenciamento ambiental. Entretanto, vale ressaltar que o trabalho não é o documento oficial a ser apresentado ao órgão para fins de licenciamento; apesar de poder basear todo o desenvolvimento real do projeto, deve-se destacar seus objetivos acadêmicos.

Uma consulta informal foi realizada após a definição da alternativa detalhada, para consolidar a listagem exigida no licenciamento ambiental do empreendimento.

4.4 Equipamentos

Para a coleta e transporte dos resíduos serão utilizados os seguintes equipamentos:

- Tratores com carretas - marca: John Deere - modelo 5055E (50hp), Massey Fergusson - modelo 50X (50hp) e Valmet (55hp);
- Retroescavadeira - marca Massey Fergusson - modelo MF86 (80hp);
- Picadora trituradora - marca Bearcat (24hp).

Algumas dessas máquinas já são utilizadas atualmente nas operações de coleta, transporte interno e carregamento de containers. Todas elas são movidas a óleo diesel, e são abastecidas dentro da AELG, em tanque de 3000 litros instalado dentro das normas da ABNT e autorizado pela CETESB. A máquina picadora e trituradora foi comprada exclusivamente para o projeto que compostagem, com a finalidade de reduzir o tamanho de alguns resíduos originados principalmente de podas ou quedas de árvores. Alguns dos maquinários encontrados durante a visita técnica estão ilustrados na Figura 23 e na Figura 24.

Figura 23 - Picadora Trituradora



Fonte: autores

Figura 24 - Trator com carreta para resíduos de poda e jardinagem



Fonte: autores

A Tabela 7 apresenta algumas estimativas de consumo para a utilização atual dos equipamentos listados.

Tabela 7 - Consumo de combustível dos equipamentos

Jan/15	582 litros
Fev/15	445 litros
Mar/15	582 litros
Abr/15	521 litros
Mai/15	357 litros

Fonte: autores

Em uma semana, o consumo médio de diesel das equipes responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos da Associação é de 180 litros.

4.5 Descrição da demanda de composto humificado

O composto final resultante do processo de compostagem da Associação servirá para suprir sua própria demanda. Sua extensa área de vegetação, somada ao paisagismo das áreas sociais, ao campo de golfe e ao orquidário são os principais locais que necessitam de adubo. Atualmente, a Associação compra aproximadamente 100 kg de adubo por mês somente para casos emergenciais de morte de plantas. Apesar da demanda real ser muito superior, a AELG faz a opção de não comprar uma quantidade maior por questões financeiras. O atual fornecedor deste adubo cobra 10 reais o quilograma, o que poderia ser representativo para o orçamento da Associação se fosse suprida toda sua demanda real.

5 ANÁLISE DE DADOS

Com os dados da Tabela 6 é possível observar que o local a ser analisado possui características físicas que o qualifica como um potencial local para o pátio de compostagem da Associação: distância mínima até os corpos d'água superficiais respeitada, vias de acesso pavimentadas, proximidade com ponto de água, ausência de vegetação no local, e presença de árvores de médio porte e arbustos no entorno,

caracterizando uma zona de entorno ideal para o tratamento dos resíduos orgânicos, e uma declividade que não impossibilita o empreendimento. As distâncias entre os limites do pátio de compostagem e as residências e casas de veraneio constituem a maior preocupação em relação à área escolhida. Isso se deve ao fato do risco de geração de odores do empreendimento, que se for mal operado, pode causar incômodo aos moradores e visitantes do entorno. Para contornar este problema, são propostas medidas de mitigação como zona de entorno com vegetação, bio-filtros e outras medidas, melhor analisadas na fase de projeto.

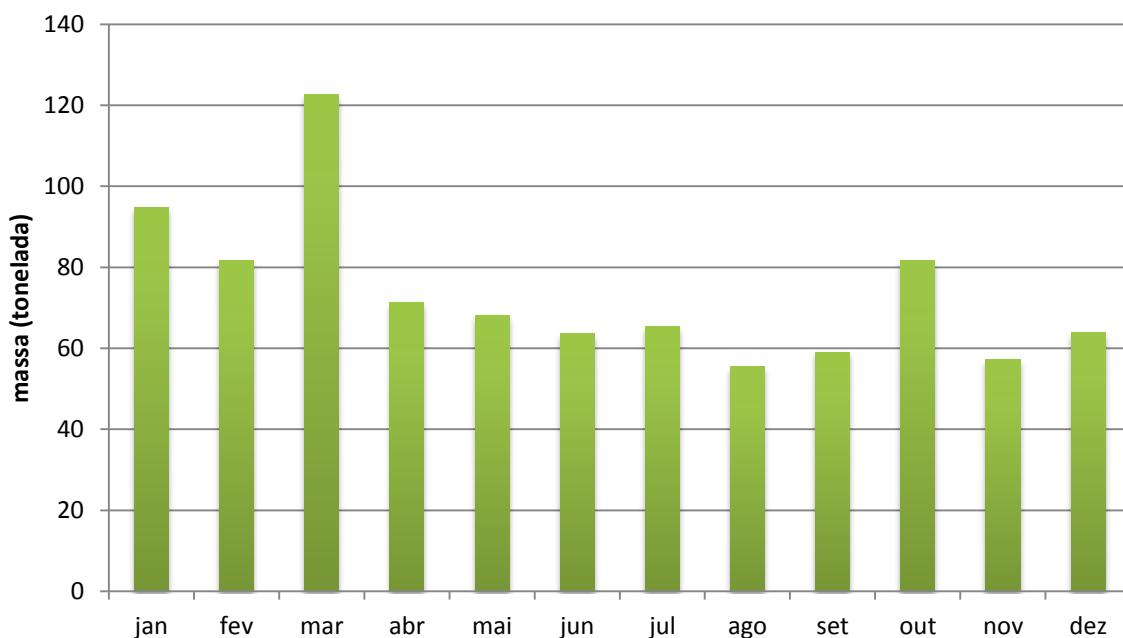
Além dos parâmetros citados, outro fator importante é a área total do local, para definir com firmeza se ele pode receber a demanda já definida pela AELG. O local em questão possui uma área de 4782,895 m² sendo a área útil do pátio disponível para as leiras de 2153,099 m². O que limitou o desenho da área útil foram os poços instalados no local, que podem ser observados na Planta Planialtimétrica localizada no Anexo I deste relatório. Para entender se esta área é adequada, é necessário um dimensionamento de leiras conforme modelo do Anexo II. Para este projeto, o dimensionamento das leiras será realizado após a definição da melhor alternativa para a compostagem.

Antes de concluir a escolha do local do pátio de compostagem, algumas análises preliminares devem ser feitas. O nível d'água do lençol freático deve ser medido para planejar uma ação de proteção. Ao fazer a medição, é prudente que se faça uma análise da água para os seguintes parâmetros: metais (totais e dissolvidos); compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis (VOC e SVOC); pesticidas; inorgânicos, como fluoreto, cianeto, nitrito e nitrato; além de parâmetros físico-químicos da água, como temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura e turbidez. Isso é indicado para se ter um registro de como o solo estava antes da instalação da usina de compostagem. Assim, tem-se uma base de comparação para casos de acidentes com contaminação do solo.

Com os dados de geradores apresentados, é possível fazer uma análise quantitativa e qualitativa dos volumes de resíduos sólidos orgânicos de cada ponto gerador. Primeiramente, faz-se uma análise de cada um deles para depois analisar o panorama geral da Associação.

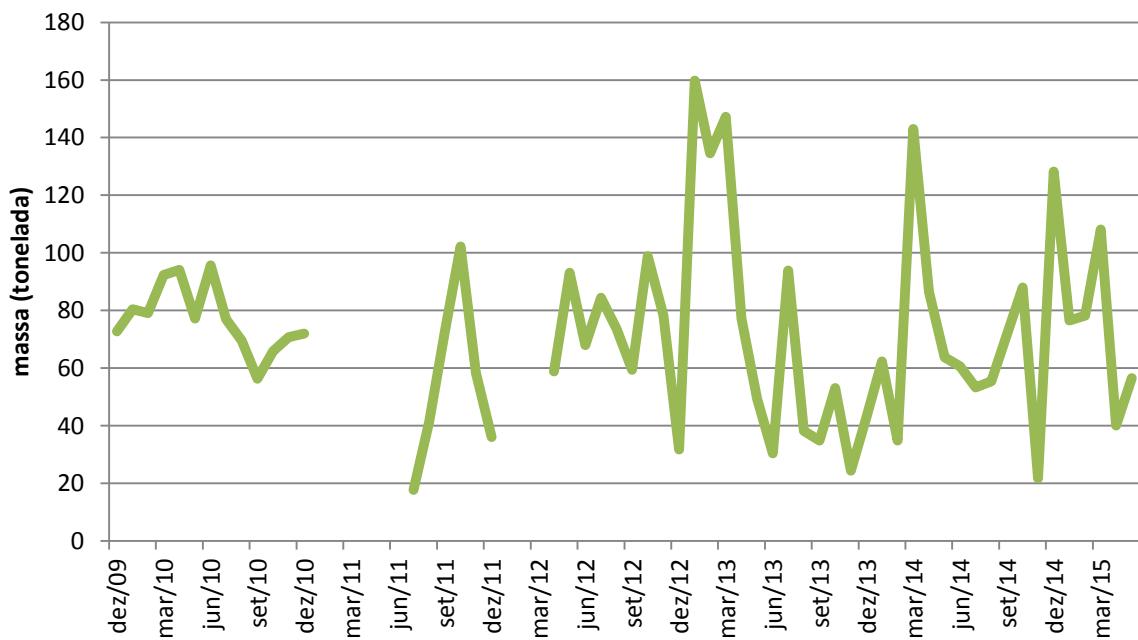
Ao contrário dos resíduos sólidos orgânicos de restaurantes e de cama de cavalo, os resíduos de poda e jardinagem possuem uma característica de geração sazonal, pois seu volume aumenta significativamente em épocas de chuvas e ventanias. Essa característica pode ser observada no Gráfico 1 que apresenta as médias mensais de geração, baseados no banco de dados disponibilizado pela Associação.

Gráfico 1 - Médias mensais (2007 a 2015) - Poda e Jardinagem

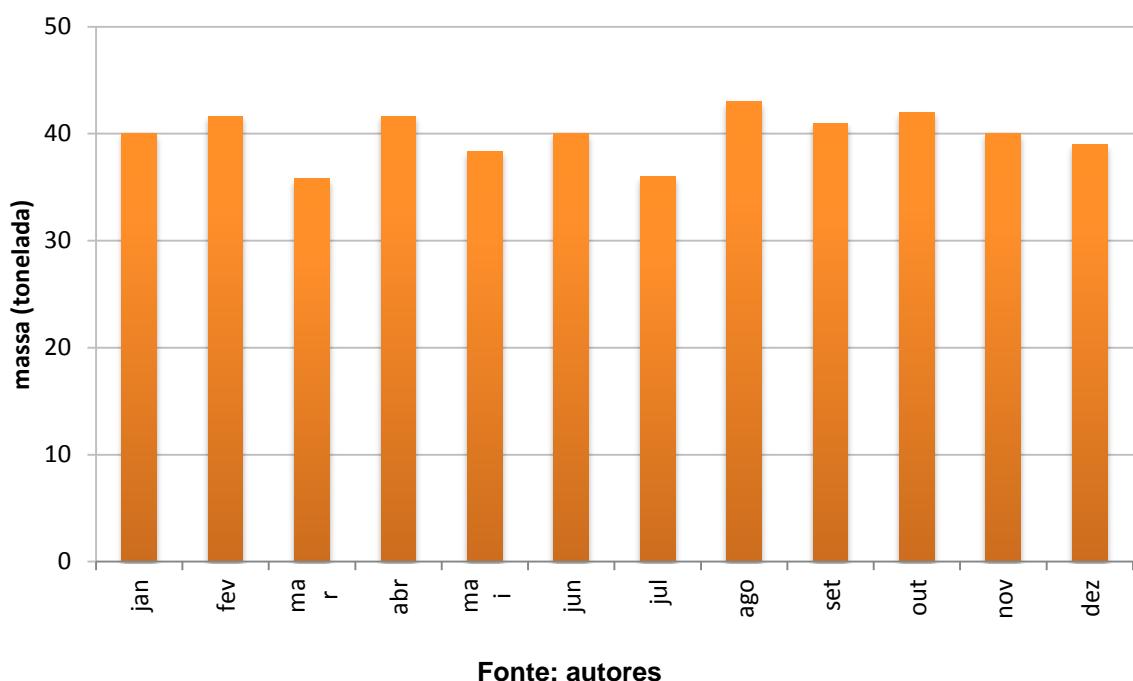


Fonte: Autores

Através do Gráfico 1 é possível notar uma leve queda na geração dos resíduos de poda e jardinagem nos meses de inverno. Na análise anual, essa diferença foi, por vezes, mais significativa. Para o dimensionamento das leiras serão utilizados os dados dos meses de maior geração, para que o pátio de compostagem atue com folga na maior parte do tempo. A série histórica de geração de resíduos no intervalo de tempo definido está apresentada no Gráfico 2.

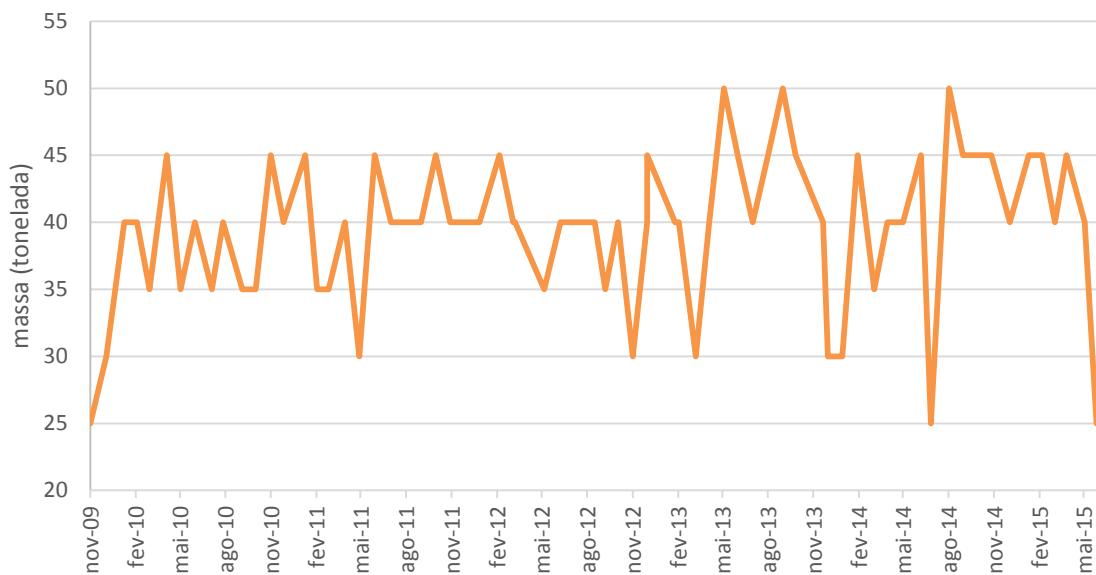
Gráfico 2 - Série histórica - Poda e Jardinagem**Fonte: Autores**

Para os resíduos de cama de cavalo, os dados foram baseados na quantidade de caçambas que eram enviadas para a empresa que faz a compostagem fora da Associação. As médias mensais estão apresentadas no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Médias mensais - Cama de Cavalo**Fonte: autores**

Como o Departamento Hípico opera muito próximo da sua capacidade máxima, e com fila de espera de interessados em abrigar seus cavalos no local, a geração de resíduos de cama de cavalo não contém alterações importantes ao longo dos anos. Essa característica fica evidente no Gráfico 4 que apresenta a série histórica da geração de resíduos orgânicos de cama de cavalo.

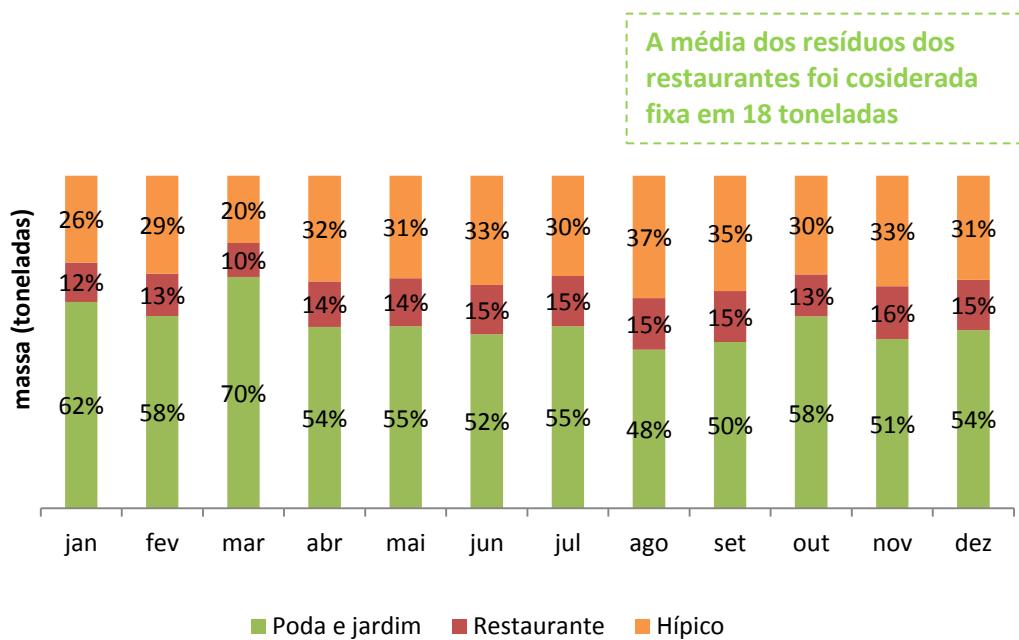
Gráfico 4 - Série Histórica da geração de resíduos orgânicos da cama de cavalo



Fonte: autores

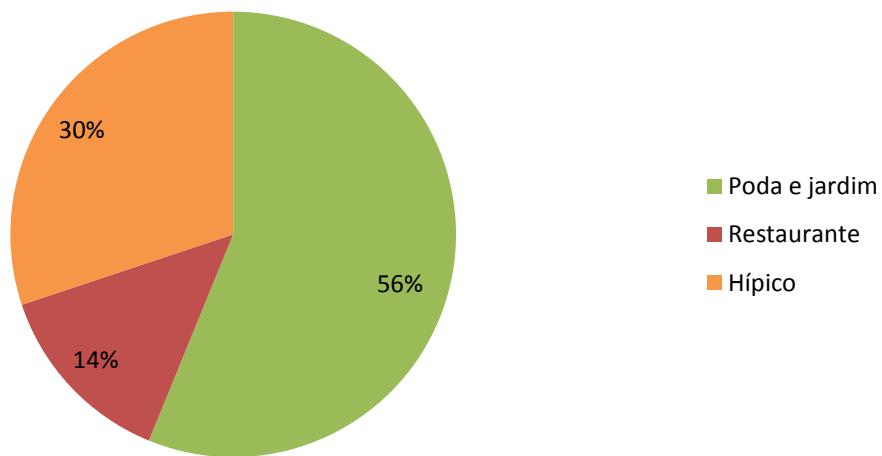
Para uma análise mais global, os dados dos principais geradores de resíduos sólidos orgânicos foram reunidos com o objetivo de avaliar a participação de cada um. O gráfico 5 e o Gráfico 6 ilustram essa relação de forma objetiva, por mês e por ano, respectivamente.

Gráfico 5 – Médias mensais dos resíduos orgânicos totais



Fonte: autores

Gráfico 6 - Participação dos tipos de geradores no total de resíduos coletados



Fonte: autores

De acordo com o Gráfico 6, os resíduos de restaurantes representam uma parcela muito pequena do geral. Devido a este cenário, e somado ao fato da inclusão de resíduos de restaurantes necessitarem de uma separação prévia, a

inclusão dos orgânicos de restaurantes será avaliada separadamente na análise de alternativas.

6 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

As atividades desempenhadas na Associação de Esporte e Lazer da Guarapiranga geram uma quantidade enorme de resíduos orgânicos. O abrigo de equinos no local; a extensa área verde, que requer serviços de jardinagem e os restos de restaurantes são os responsáveis por fazer com que a AELG necessite de uma forma de destinação de resíduos diferenciada da comum, ou seja, apenas o serviço público de coleta não é suficiente.

Perante essa situação, a AELG trata a questão do seguinte modo: Os resíduos gerados pelo centro hípico são armazenados temporariamente em contêineres para, posteriormente, serem destinados a uma empresa de tratamento de resíduos orgânicos, na qual o material destinado é utilizado como matéria prima para compostagem. Para essa atividade a Associação paga um alto valor (devido à distância do local de tratamento) a essa empresa, para que colete o resíduo no local e se torne responsável pela destinação final do mesmo. Os resíduos ocasionados pela jardinagem, os originários dos restaurantes e os gerados pelos frequentadores são destinados para aterros sanitários, onde ocorre sua disposição final, serviço esse que também tem alto custo monetário para a Associação.

Aliado à situação acima descrita ainda pode-se colocar a demanda grande por fertilizante orgânico, para o condicionamento e fertilização de boa qualidade do solo. A AELG preza pela excelência de suas instalações, portanto o melhor tratamento para com o solo é fundamental, fazendo com que a utilização do adubo seja indispensável. Novamente aqui é latente a questão dos altos custos para compra do material.

Como outro ponto de relevância que vale destaque, e que contribui com a situação, é o fato que, mesmo após destinar os resíduos para a empresa de compostagem, a responsabilidade legal sobre eles não cessa. Portanto não há vantagens legais para a Associação em destiná-los dessa maneira.

Avaliando a conjuntura, vê-se que o atual cenário de destinação de resíduos da Associação é desfavorável. Os custos de todas as etapas de tratamento/destinação

dos resíduos orgânicos recaem apenas sobre a AELG, evidenciando a sua pior posição na cadeia de resíduos. O tratamento de resíduos sólidos como matéria destruída de valor, cuja única atitude é se desfazer mais facilmente possível já está ultrapassada. A mentalidade hoje é de que o resíduo é um insumo importante e pode gerar valor, não apenas no âmbito ambiental como também no âmbito econômico.

Considerando a situação atual há uma clara oportunidade de ação. A possibilidade de fazer com que uma nova postura diante do resíduo diminua substancialmente os custos e, numa situação mais adiante, poder gerar alguma receita. É diante dessa oportunidade que o presente trabalho se desenvolverá.

A proposta então é avaliar uma alternativa de engenharia que seja passível de solucionar a questão, contemplando viabilidade técnica, financeira e ambiental. A alternativa a ser estudada e trabalhada é a implantação de um pátio de compostagem para os resíduos orgânicos no terreno da Associação. A pequena central de compostagem será a responsável por receber os resíduos orgânicos da AELG, tratá-los e fornecer, como produto final do processo, composto fertilizante passível de ser usado como fertilizante na própria Associação. O trabalho irá avaliar todas as etapas da alternativa, desde a concepção do projeto, engenharia e suas técnicas construtivas e de operação até as análises financeiras e impactos sócio-ambientais.

Por fim, o objetivo do trabalho não é ser o projeto de engenharia oficial da usina, mas servir como base coerente aos tomadores de decisão, para que os mesmos sejam capazes orientados também por este documento, de conceber a melhor solução para o problema identificado. Além de poder empregar na fase no projeto final alguns dos conhecimentos aqui empregados.

7 ALTERNATIVAS PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Para levantar as alternativas mais relevantes a serem estudadas nesta etapa do trabalho, foi feita uma análise das vantagens e desvantagens de cada tecnologia de tratamento exposta na Tabela 3. Os métodos de compostagem considerados mais interessantes para nossa análise são: leiras estáticas com sistema de aeração sem soprador, leiras com revolvimento mecânico e leiras com revolvimento manual.

Levando em consideração as preocupações da Associação em relação à geração de odor e atração e proliferação de vetores no local, serão consideradas em separado as possibilidades de inclusão de orgânicos gerados nos restaurantes. Essa análise é válida, pois esses compostos conferem uma diversidade importante ao composto, e pode trazer uma complexidade à compostagem que deve ser analisada. Além disso, a necessidade de uma etapa de triagem na pré-compostagem implica em uma elevação nos custos de operação que deve ser considerado separadamente na etapa de planejamento.

Durante a conversa com os representantes da Associação aventou-se a possibilidade de compra de microrganismo para acelerar o processo de decomposição. Uma análise de custo-benefício pode ser de grande utilidade na tomada de decisão para avaliar se a compra destes microrganismo trará uma melhora significativa ao processo.

Com este panorama, teremos 12 alternativas diferentes para compor uma matriz-decisão que nos auxiliará na escolha da melhor alternativa através do método multi-critério.

8 ESCOLHA DA SOLUÇÃO

Na escolha da solução foi utilizado o método de análise multicritérios. Inicialmente, foram definidos quatro critérios principais e cada um foi detalhado em subcritérios que fossem relevantes na caracterização do futuro empreendimento.

Para cada subcritério foi determinado um peso que determina a relação de importância entre eles. Esses pesos foram definidos pelos autores em conjunto com a opinião dos principais representantes da AELG, que preencheram um questionário para expressarem livremente suas opiniões a respeito das suas prioridades no empreendimento.

Em reunião, os autores definiram notas dentro das escalas pré-definidas para todos os subcritérios dentro de cada alternativa. Por fim, as alternativas terão notas que representam uma base de comparação entre elas, compostas da soma total dos parâmetros da nota multiplicada pelo respectivo peso. A alternativa com a maior nota será a mais adequada para o empreendimento.

8.1 Escalas e justificativas

Inicialmente, foram determinados os critérios: técnico, financeiro/econômico, ambiental e social. O primeiro diz respeito aos parâmetros que envolvem a eficiência do tratamento por compostagem como área, complexidade da tecnologia empregada, sensibilidade ao clima, tempo de estabilização do composto, qualidade do produto, e produtividade. O segundo faz menção aos aspectos financeiros do pátio de compostagem, como custos de implantação e de operação. O terceiro diz respeito a questões ambientais como, necessidade de água, poluição do ar, geração de odor, e poluição do solo e de corpos d'água. Para o critério social, os subcritérios escolhidos foram segurança ocupacional, geração de empregos e perturbação do entorno.

Para que os critérios com mais subcritérios não tivessem um peso maior na escolha da solução, serão atribuídos pesos para os grupos, com a finalidade de evitar distorções indesejadas.

O questionário passado aos tomadores de decisão encontra-se no Apêndice II. Vale ressaltar que as alternativas que serão abordadas na matriz-decisão não foram informadas aos entrevistados, de modo que suas respostas ficassem livres de opiniões pessoais a respeito das alternativas selecionadas.

Como resultado do questionário e posterior reunião com os autores, obteve-se as Tabelas 8 e 9, que resumem os pesos, escalas e notas das alternativas, destacando a de maior pontuação em amarelo.

Tabela 8 - Resultados da pesquisa e definição dos pesos

Notas	Parâmetros														
	Custo operação	Custo implantação	Segurança ocupacional	Geração de emprego	Perturbação do entorno	Risco de contaminação do solo e corpos d'água	Risco de redução na qualidade do ar	Necessidade de uso de água canalizada	Risco de gerar odor e proliferação de vetores	Complexidade de operação	Qualidade do composto	Área necessária para o projeto	Sensibilidade ao clima	Tempo de estabilização do composto	Produtividade
Entrevistado 1	5	5	4	3	5	5	5	2	5	3	5	2	4	3	5
Entrevistado 2	5	5	1	1	5	5	5	2	5	5	2	2	2	2	5
Entrevistado 3	5	3	5	3	5	5	3	4	5	3	4	3	4	3	5
Entrevistado 4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	4	5	3	4	5	5
Média	5	4,25	3,75	2,75	5	5	4,5	3,25	5	3,75	4	2,5	3,5	3,25	5
	Econômico		Social		Ambiental				Técnico						
Entrevistado 1	1		4		3				2						
Entrevistado 2	3		2		1				4						
Entrevistado 3	1		4		3				2						
Entrevistado 4	2		3		4				1						
Média macrocritérios*	1,75		3,25		2,75				2,25						
* No caso específico da média de macrocritérios, quanto menor o valor mais prioritário.															
Prioridades	1 (23 pontos)		3 (10 pontos)			2 (21 pontos)				2 (21 pontos)					
Pesos	12	11	5	1	4	7	5	2	7	5	5	1	2	3	5

Tabela 9 - Matriz de decisão

Alternativa	Uso de inoculante com micro-organismos	Uso de resíduos de restaurantes	Econômico		Social			Ambiental			Técnico					Nota Final da Alternativa		
			Custo operação	Custo implantação	Segurança de ocupação	Geração de emprego	Perturbação do entorno	Risco de contaminação do solo e corpos d'água	Risco de redução na qualidade do ar	Necessidade de uso de água canalizada	Risco de gerar odor e proliferação de vetores	Complexidade de operação	Qualidade do composto	Área necessária para o projeto	Sensibilidade ao clima	Tempo de estabilização do composto		
Pesos	-	-	12	11	5	1	4	7	5	2	7	5	5	1	2	3	5	
Leiras estáticas com sistema de aeração sem soprador	Sim	Sim	3	1	2	4	4	2	2	5	2	4	4	4	1	2	2	188
		Não	4	3	5	3	4	3	2	5	3	5	3	5	1	2	2	251
	Não	Sim	4	1	2	4	4	3	2	5	1	4	4	4	1	1	1	192
		Não	5	3	5	3	4	4	2	5	2	5	3	5	1	1	1	255
Leiras com revolvimento manual	Sim	Sim	2	2	1	5	4	2	3	4	3	3	5	3	2	4	3	204
		Não	3	5	2	4	4	3	3	3	4	2	4	4	2	4	3	256
	Não	Sim	3	2	1	5	4	3	3	4	2	2	5	3	2	3	2	203
		Não	4	5	2	4	4	4	3	3	3	3	4	4	2	3	2	265
Leiras com revolvimento mecânico	Sim	Sim	1	2	2	4	3	2	2	3	4	3	5	2	2	5	5	204
		Não	2	5	4	3	3	3	2	2	5	4	4	3	2	5	5	271
	Não	Sim	2	2	2	4	3	3	2	3	3	3	5	2	2	4	4	208
		Não	3	5	4	3	3	4	2	2	4	4	4	3	2	4	4	275

As notas são referentes ao desempenho da referida alternativa em cada um dos critérios de interesse. Foram atribuídas, para todos os critérios da mesma forma, valores de um a cinco para cada questão, de forma crescente, sendo o um representando, qualitativamente, o pior desempenho possível, e cinco, o melhor. As notas atribuídas nesse projeto são apenas ferramentas para facilitar a comparação entre os desempenhos de cada alternativa, não representam, necessariamente, uma avaliação definitiva para as técnicas, qualificando-as. O processo de atribuição das mesmas apoiou-se nos conhecimentos técnicos dos autores; foi utilizada como referência a base teórica presente na bibliografia estudada. Os valores apresentam certo nível de incerteza, que não pode ser desconsiderado, devido ao fato de conter entendimentos pessoais de cada alternativa; mesmo assim são capazes de orientar efetivamente a escolha da decisão.

Os pesos entram, como fator multiplicativo das notas, na matriz de pontuação das alternativas. O peso é o fator que indica o nível de importância de determinado critério frente aos outros para realização do projeto, quais as prioridades a serem atendidas e consideradas. A metodologia para a definição dos valores foi a seguinte: Foi imposto um valor total de pontos a serem distribuídos entre todos os critérios; esse valor total foi de 75 pontos (5 pontos por cada um dos 15 critérios). A primeira divisão ocorreu pela relação de prioridades nos macro-critérios (ambiental, social, técnico e econômico). Dentro de cada macro-critério ocorreu nova divisão, agora entre os parâmetros de decisão.

Os valores de peso, tanto dos macro-critérios como dos parâmetros de decisão, como já dito, foram atribuídos de acordo com uma composição entre a opinião da parte interessada da AELG (representada pelas respostas dadas na pesquisa, por quatro pessoas vinculadas diretamente à instituição) e a posição dos autores deste projeto sobre cada uma das questões, baseando-se em conhecimentos técnicos e nas demandas e possibilidades do empreendimento. A exceção foi o parâmetro ‘produtividade’, que não foi aberto à pesquisa; para este foi determinado pelos autores o valor ‘5’, visto as necessidades do projeto (grande exigência de material condicionador de solo).

8.2 Alternativa escolhida

De posse do resultado dado pela matriz de decisão e, após avaliação crítica e revisões, tanto dos interessados como dos autores, sobre esse resultado (e as premissas assumidas), decidindo-se por mantê-lo, a alternativa escolhida para a elaboração do projeto foi: Técnica de leiras com revolvimento mecânico, sem abranger resíduos orgânicos dos restaurantes e sem a utilização de produtos inoculantes adquiridos de terceiros.

9 DETALHAMENTO DO PROJETO

9.1 Visita técnica

Para melhor entendimento do processo de compostagem em casos reais, e para obter indicações de parâmetros de engenharia para o projeto em questão, foram realizadas visitas técnicas a locais que aplicam a compostagem.

Duas tentativas de visitas técnicas dentro da cidade de São Paulo foram feitas, e não se obteve sucesso em extrair informações valiosas para o estudo. Uma delas, no Parque Burle Marx, o centro de compostagem estava abandonado, sem restrição para entrada de pessoas ou animais, e com nenhum sinal de funcionamento recente. Já na segunda tentativa, no telhado verde do Shopping Eldorado, foi possível observar somente o uso dado ao composto estabilizado, já que a compostagem é realizada em *containers* fechados em outro local do Shopping, que estava indisponível para visitas no momento. Neste caso, o composto é utilizado para cultivo de verduras no telhado do Shopping, e a matéria-prima utilizada são os restos de alimento da Praça de Alimentação. Na Figura 25 é possível perceber pequenos ossos provenientes das comidas, o que ocasiona um problema já que esse material demoraria muito para ser decomposto e incorporado de alguma maneira no processo.

Figura 25 - Exemplo de uso de composto para verduras - Shopping Eldorado



Fonte: autores

Foi realizada uma visita técnica a uma usina de compostagem na cidade de Jundiaí com o objetivo de observar a infraestrutura do local e a rotina praticada pela empresa para compostagem de lodo de esgoto com resíduos de cultivos de cana de açúcar, frutas, legumes e verduras além de eventuais resíduos de indústria de papel e celulose.

Algumas diferenças entre os resíduos do pátio visitado e do projeto de compostagem deste estudo são importantes para diferenciar o tipo de estrutura necessária e a operação dos dois projetos. A diferença da umidade do lodo de esgoto e as legislações impostas para o tratamento deste resíduo são fatores importantes, pois determinam as condições de impermeabilização e a necessidade de desinfecção do composto.

A visita foi importante, portanto, para captar as semelhanças e entender as diferenças que se tornam um obstáculo para extração de parâmetros de projeto da planta de Jundiaí com o projeto da AELG. As figuras ilustram a operação da usina em um sábado, com a chegada de resíduos, e a identificação dos principais dados sobre as leiras, que estão tanto em campo com uma placa, quanto em planilhas de controle no escritório.

Figura 26 - Chegada de resíduos no pátio de compostagem



Fonte: Autores

Figura 27 - Leiras revolvidas mecanicamente com identificação



Fonte: Autores

9.2 Condições Legais e de licenciamento

Para entender as condições específicas da AELG para implantação de um pátio de compostagem em região de mananciais, foi realizada uma visita à CETESB com o intuito de expor o caso e obter informações detalhadas de como a Associação deve proceder para implantar o tratamento de seus resíduos orgânicos.

Devido à natureza de suas atividades, não se aplica a AELG possuir Licença de Operação, e não se faz necessário um processo de licenciamento para o tratamento de compostagem da maneira descrita no site da CETESB, conforme lista apresentada anteriormente neste estudo. A referida lista se aplica somente a empresas que pretendem fazer a compostagem como sua principal atividade.

A orientação dos agentes da CETESB, de forma informal e não registrada, seria de solicitar um Parecer Técnico via Portal de Licenciamento Ambiental e um Alvará de Licença que está previsto na legislação de proteção e recuperação de mananciais para que o pátio seja instalado em local de manancial. O Parecer Técnico é necessário, de acordo com o artigo 57 do Decreto Estadual 8468 de 1976, que apresenta as atividades consideradas fontes de poluição.

Porém, ainda que o parecer técnico seja solicitado em coerência com este decreto, há outra questão a se preocupar em relação à localidade do pátio. A Lei Estadual 1817 de 1978 que estabelece os objetivos e as diretrizes para o desenvolvimento industrial metropolitano e disciplina o zoneamento industrial, a localização, a classificação e o licenciamento de estabelecimentos industriais enquadra a atividade de compostagem na categoria IA. Esse enquadramento implica na proibição de atividades de compostagem dentro da Região Metropolitana de São Paulo.

Entretanto, uma alteração desta Lei Estadual, a Lei 11243 de 2002, permite que atividades enquadradas em IA sejam instaladas em ZUPI-1 ou ZEI, e incentiva estabelecimentos industriais que reduzam a emissão de poluentes. Neste sentido, acredita-se que o tratamento por compostagem dos resíduos da AELG pode ser autorizado, levando em conta as condições de legislação, zoneamento, e histórico positivo da Associação em práticas visando a melhorias no seu desempenho ambiental.

9.3 Dimensionamento do pátio

9.3.1 Layout

O layout do pátio de compostagem foi definido com base no volume médio diário recebido de resíduos, a área disponível para operação e eventuais restrições do local como canos, tocos e vegetação.

Assim, partindo do maior volume histórico mensal gerado, tanto para poda de varrição quanto para cama de cavalo (tais valores foram produzidos em Fevereiro de 2013 e Abril de 2015, respectivamente), estimou-se o valor diário médio. Devido à sazonalidade maior do verão em relação ao inverno e ao fato deste maior volume histórico mensal ter sido produzido nesta época do ano, foi definido um fator de correção de 0,7 para representar um volume crítico de resíduos que não seja ultrapassado em mais de 70% do ano. Esta estimativa é segura, já que se baseia em um volume máximo da série histórica, que de acordo com o modelo pode ocorrer na maior parte do ano, sem prejudicar a operação.

A partir disto, estabeleceu-se conservadoramente o tempo de compostagem da matéria orgânica em 90 dias, compreendendo as fases ativa e de maturação. Pela multiplicação do volume diário com o tempo de maturação, estabeleceu-se o volume máximo de composto presente no pátio.

Outro fator restritivo foi a declividade do terreno, calculada em aproximadamente 10% no sentido nordeste-sudoeste (extremo superior do pátio ao extremo inferior do pátio), isto obrigou a construção de duas bermas para eliminar os efeitos da declividade, uma com 26,8 metros de extensão e outra com 17 metros. Ambas as bermas são planas, com declividade estipulada em 3% (no sentido sudeste-noroeste). Em cima destas bermas, foram dispostas 5 leiras na primeira e na segunda berma reservara-se um espaço para a fase de maturação e estoque de composto estável, conforme a planta do Apêndice VI – Planta do pátio de compostagem.

Foi projetada uma leira típica com 58 metros de comprimento, por 2,5 metros de largura, 1,5 metros de altura e com seção triangular. Ao fazer o cálculo do volume total oferecido pelas leiras, chega-se em 791 m³ que é 37,5% menor que o volume

máximo de composto de 1.088 m³. Assumimos que tal defasagem de volumes é absorvida pela digestão do composto, que diminui seu volume em até 50% ao longo do período de maturação, conforme sugerido pela literatura.

Para a área útil do pátio, soma-se as áreas das 5 leiras projetadas com a área para maturação e os corredores, que assumimos como 75% da área das leiras. Tal premissa define espaçamentos de 58 metros de comprimento, por 3 metros de largura na primeira berma. Por fim, estima-se a área de circulação de equipamento e pessoas como 17% da área útil. Dessa forma, a composição da área útil do pátio com a área de circulação totaliza 1.790 m² de área total, o que está dentro do limite disponível de 2.100 m².

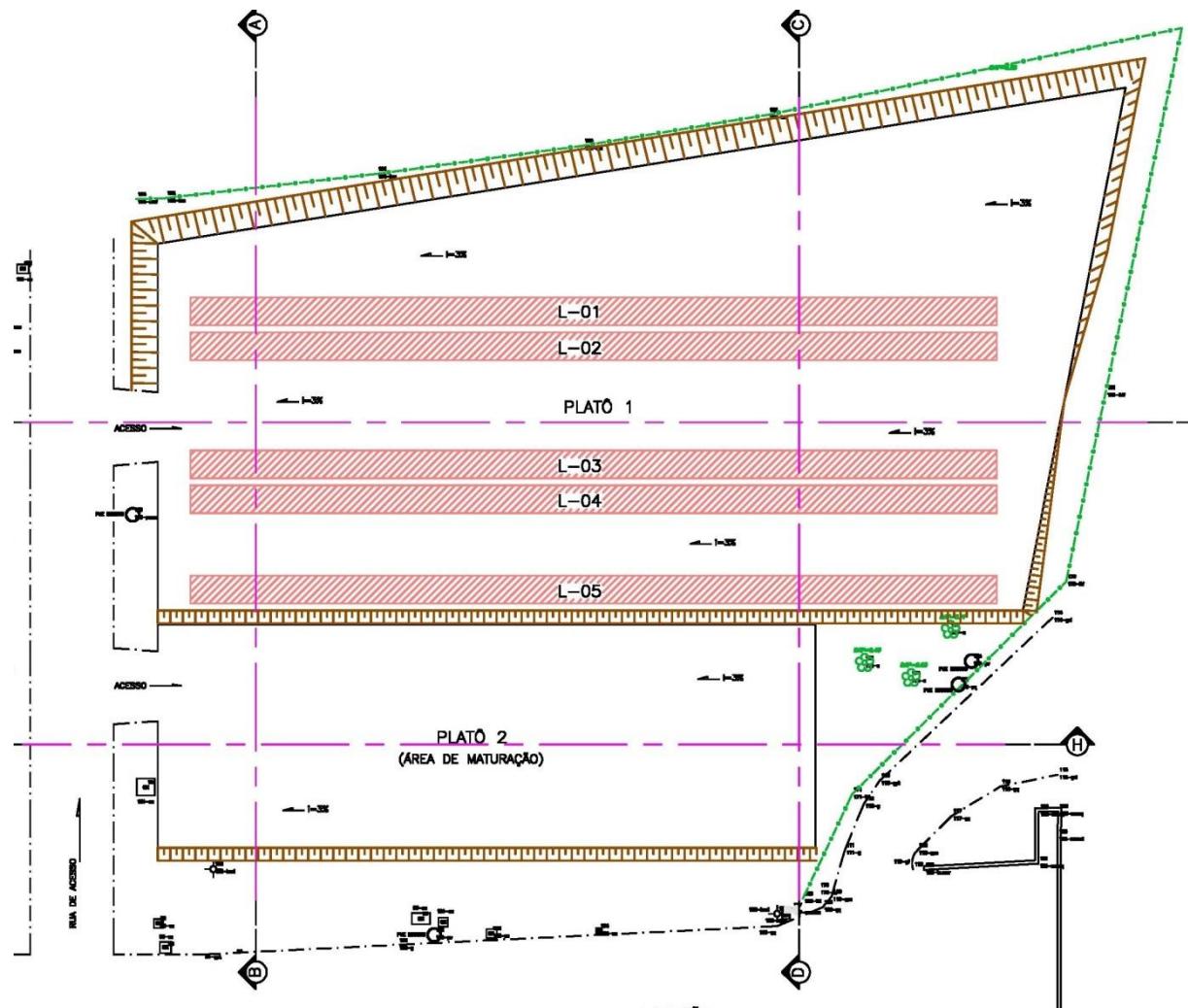
O pátio terá estrutura de cobertura, semelhante a um galpão em forma, em toda a extensão de sua área, com o objetivo de evitar o contato das águas pluviais com as leiras, evitando a geração de efluente a ser tratado. A estrutura de reserva de água é descrita na seção 9.3.4. Além do pátio, será construído um reservatório de águas pluviais a noroeste do terreno, que receberá através de tubulação enterrada a água captada na cobertura do pátio.

Os locais para armazenamento dos resíduos serão mantidos como estão atualmente. Os resíduos da hípica serão armazenados em uma caçamba próxima aos estábulos, e serão transportados periodicamente até o local da compostagem. Já os resíduos de poda e jardinagem são mantidos a sudoeste do terreno, do outro lado da via pavimentada, em pilhas dispostas em gramado sem cobertura.

9.3.2 Terraplanagem

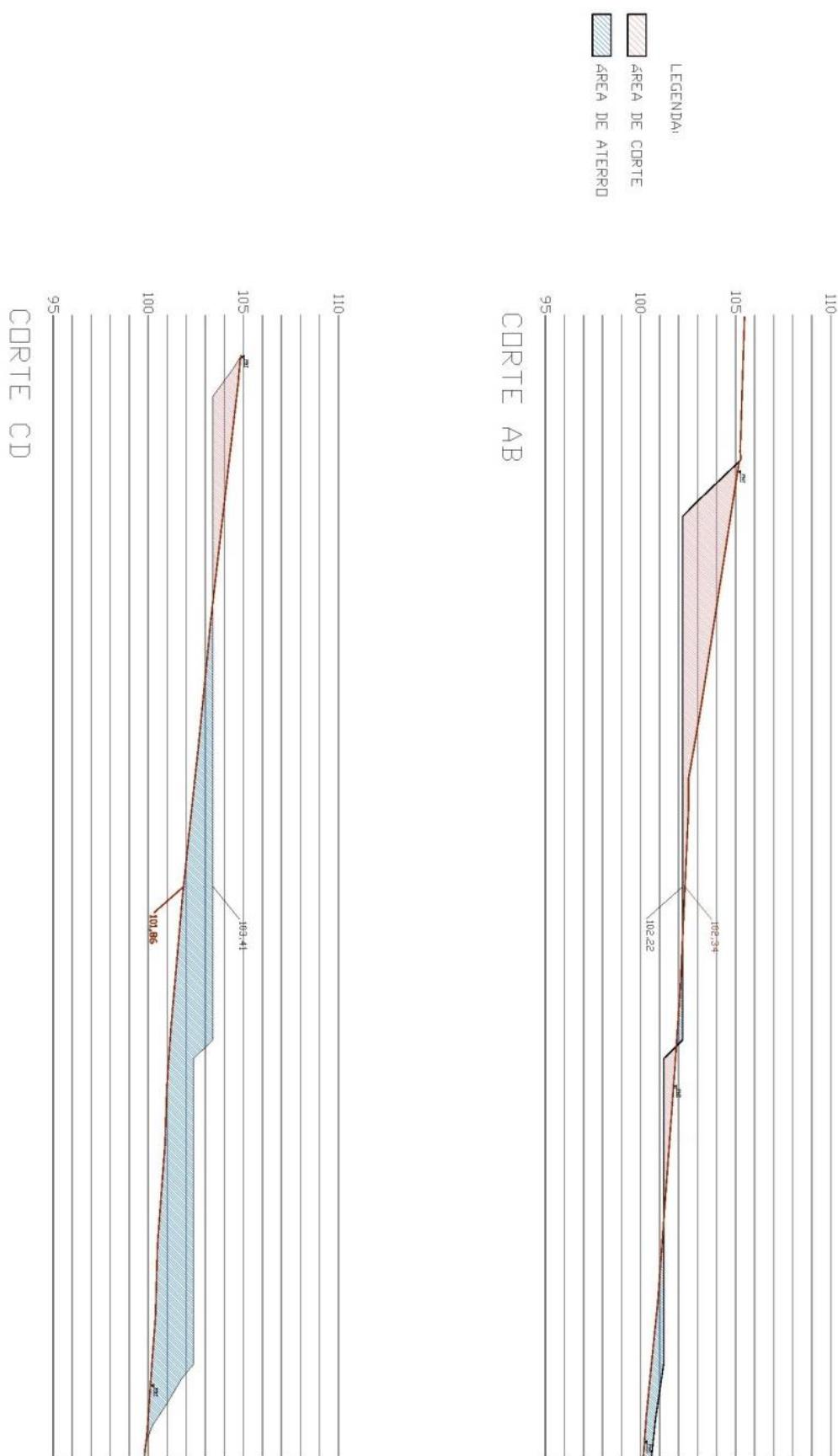
De acordo com o levantamento bibliográfico feito anteriormente, é recomendável uma declividade máxima de 4% no terreno. A área escolhida para o pátio de compostagem vai necessitar, portanto, de uma terraplanagem com corte e aterro para a formação de duas bermas planas com declividade de 3% nos dois sentidos, separadas por um talude de aproximadamente um metro, e delimitadas a montante e a jusante por taludes de um metro com canais de drenagem. A Figura 28 apresenta a localização das bermas de apoio para a compostagem.

Figura 28 - Representação dos platôs no pátio de compostagem

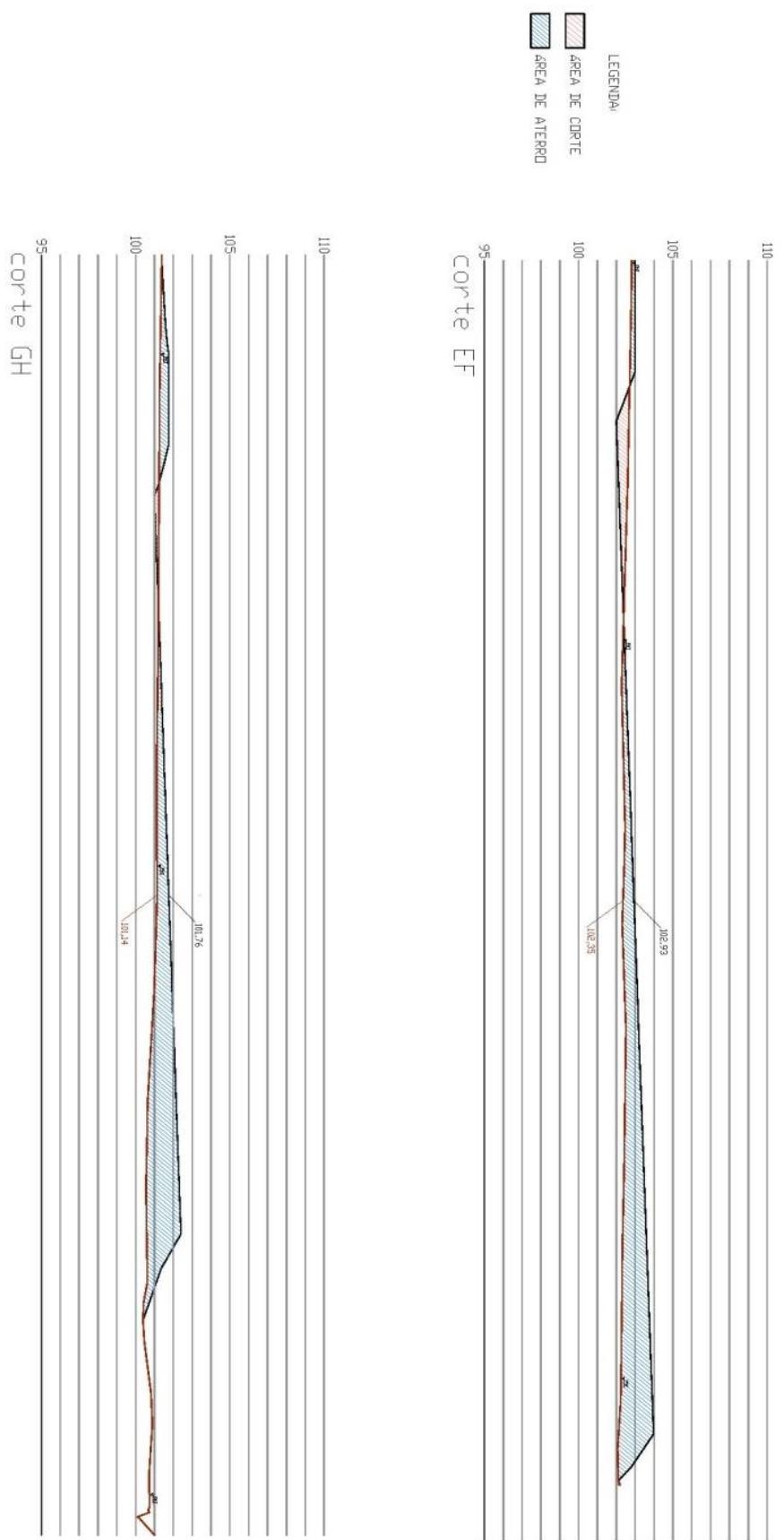


A terraplanagem do pátio deve-se iniciar pela parte mais baixa do pátio e seguir até atingir a parte superior. Ela contará com áreas de corte e aterro para garantir que os platôs tenham a declividade desejada para escoamento. Durante a terraplanagem será construído uma rampa de acesso com argila compactada para a entrada dos equipamentos no pátio. A planta detalhada do pátio de compostagem encontra-se no Apêndice VI – Planta do pátio de compostagem. Na Figura 29, estão os perfis do pátio antes e depois da terraplanagem, que são a base dos cálculos para definir os volumes de terra movimentada.

Figura 29 - Cortes transversais e longitudinais do pátio de compostagem



[Continuação] Figura 30 - Cortes transversais e longitudinais do pátio de compostagem



A seguir, serão detalhadas as dimensões do pátio apresentado na planta, com o intuito de facilitar os cálculos de custos e detalhar a construção do empreendimento.

Platô 1

No platô 1 estarão dispostas as 5 leiras que compõe a fase inicial do processo de compostagem, cuja operação será detalhada mais adiante neste relatório. Cada uma das leiras possui 58m de comprimento e 2,5m de largura, e são dispostas duas a duas para aperfeiçoar os espaços reservados para os equipamentos pesados. A distância entre duas leiras próximas é de 0,5m enquanto que a distância dos corredores é de 6,5 m no corredor central e 4,5 m no corredor entre as leiras L-04 e L-05 e uma distância de 4,24 m na leira L-01 até o limite mais próximo do platô 1. O platô 1 não possui um formato regular devido à cerca viva que já existe no local, e à elevada declividade do terreno à nordeste dos limites do pátio. Suas dimensões são 26,4 x 10,5 x 38,3 x 62,3 m, totalizando uma área de 2086,8 m².

Platô 2

O platô 2 foi reservado para a fase de maturação da compostagem, quando o composto estará disposto em pilhas, e não mais em leiras. Este espaço também será utilizado para estocagem de produto pronto. As dimensões do platô 2 serão 16 x 47,3 m totalizando uma área de 757 m².

Rampa de acesso

A rampa de acesso ao pátio será implantada a noroeste da área do pátio e a via terá largura de 6 m. A execução seguirá o seguinte plano:

- Partindo da via pavimentada a sudoeste do pátio, faz-se uma rampa com declividade aproximada de 8,5% e 40 m de extensão.
- Entradas nos platôs 1 e 2 no mesmo nível, projetadas em espaços que evitem a remoção das árvores e estruturas pré-existentes no local.

Nível do lençol freático

O nível d'água do lençol freático não pôde ser aferido por sondagens para este estudo. Para estimar o nível do lençol freático, foram medidas três cotas do córrego mais próximo ao local do pátio, o Córrego do Tanquinho. Com um equipamento de nível, e um ponto de cota conhecida no pátio, transferiu-se a referência para um

local de melhor visibilidade do córrego. As medidas foram feitas no local e as cotas estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Cotas dos pontos no Córrego do tanquinho

Zref1	99,986 m
Zref2	99,736 m
Zp1	99,076 m
Zp2	98,376 m
Zp3	97,406 m

Fonte: autores

Com os pontos, é possível estimar que o nível d'água nos platôs 1 e 2 são, respectivamente 4,0 e 5,0 metros.

O nível d'água do lençol freático será importante na construção do reservatório de águas pluviais, e durante o planejamento e execução da terraplanagem, sobretudo na região de corte. Com estes valores estimados, conclui-se que o nível d'água não será um problema durante a execução da terraplanagem.

9.3.3 Impermeabilização

Por se tratar de um local com elevadas pressões ambientais, devido à proximidade com mananciais e com a represa de abastecimento público, foi proposto um sistema de impermeabilização que ofereça total segurança aos recursos hídricos locais, mesmo que os custos sejam um pouco elevados, contemplando a importância da área.

O projeto de impermeabilização do pátio de compostagem foi baseado, devido à demanda por enfoque em segurança, em projetos de impermeabilização de solo de aterros sanitários modernos, que, pelo óbvio risco e alta geração de percolados, necessitam impermeabilização de alto desempenho. Portanto foram observadas as práticas mais recorrentes, os elementos utilizados e as dimensões padrão desse tipo de empreendimento.

Assim foi definido o sistema na forma: Cobertura de geomembrana PEAD 2 mm; colchão drenante de areia média de 10 cm, com tubos drenos de concreto de diâmetro 10 cm; camada de proteção de 40 cm de solo compactado; e cobertura impermeabilizante de 30 cm de argila compactada.

A instalação se dará após a execução dos serviços de terraplanagem e compactação do solo e seguirá o seguinte plano:

- Cobertura total, impermeabilizante, com geomembrana PEAD 2 mm das duas bermas, talude central e das laterais dos taludes superiores. A emenda entre os painéis será feita por termofusão, com uso de equipamento adequado;
- Sobre toda a área da manta de PEAD será disposta um camada, com a finalidade de drenagem caso haja formação de percolado, de areia média de 10 cm de espessura;
- Uma tubulação drenante de concreto de diâmetro 10 cm será disposta sobre todo o perímetro noroeste da camada drenante de areia, com a finalidade de coletar e transportar o percolado, protegida por uma faixa de material de maior granulometria.
- Implantação de uma caixa de concreto, à jusante da tubulação de concreto, para reserva do percolado, com saída para bombeamento do líquido;
- Cobertura de toda a área da camada drenante e tubulação com uma faixa de 40 cm de solo compactado, com objetivo de proteção mecânica e de intempéries, tanto da camada drenante como da geomembrana PEAD;
- Cobertura final de toda a área do pátio (taludes e bermas) com uma camada impermeabilizante de 30 cm de argila compactada, com vincos em toda a extensão das extremidades das bermas para colocação dos drenos superficiais.
- Área total impermeabilizada: 3916,4 m²

9.3.4 Balanço hídrico

Considerando os cálculos de vazão já mencionados, e os problemas relacionados ao acúmulo de água no pátio, foi elaborado um balanço hídrico

considerando como aporte de água a chuva na área do pátio, e a frações de saída são: a evaporação (com a leira parada e durante o revolvimento) e o consumo de água do próprio processo.

Para a estimativa do consumo de água inicial em uma leira, tem-se que quantidade ótima de água para ser aplicado a uma pilha de compostagem pode ser calculada a partir de uma equação de equilíbrio de massa (Vesilind et al., 2002)

$$M_p = (M_x X_s + 100 X_w) / (X_w + X_s)$$

Onde M_p é o teor de umidade da pilha de compostagem no início da compostagem (%), M_s a umidade do resíduo (%), X_s massa molhada de sólidos (toneladas) e X_w a massa de água, águas residuais, ou outra fonte de água (toneladas) (Pichtel, 2005) Com a umidade de cada elemento da mistura, tem-se que a demanda de água para correção de umidade é de aproximadamente 450 L por mês.

Essa equação determina a quantidade de água necessária para o início do processo, sem levar em consideração a quantidade de água que será evaporada durante os revolvimentos. Para estimar esse valor, utilizou-se um estudo realizado em área de proteção de mananciais em São Lourenço da Serra com leiras cobertas e descobertas, de revolvimento periódico e com RSU, da autora Gorgati, 2001. Com este estudo, concluímos que a fração de água que evapora em uma lera descoberta seria de aproximadamente 30% da água da chuva que incide no pátio, considerando a média anual de todas as estações do ano.

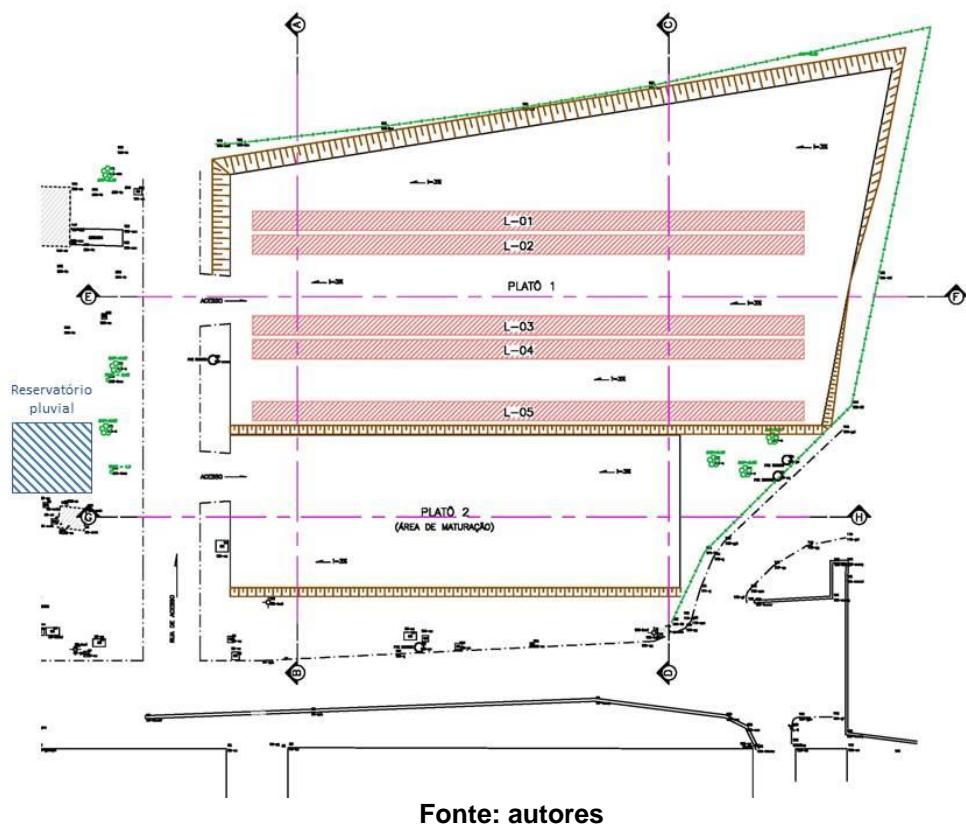
Devido aos grandes valores de chuva manipulados, é justo considerar que a parcela de água consumida pela atividade microbiana é desprezível. Portanto, o balanço hídrico simplificado seria que toda a chuva incidente no pátio seria consumida na correção inicial de umidade e na evaporação da leira. Esse balanço resultou em um reservatório de chorume muito grande, de dimensões proibitivas. Por se tratar de uma região valorizada, uma área muito grande geraria transtornos, e o tratamento do chorume não se mostra como uma alternativa, também devido às restrições de espaço. As planilhas de cálculo para o sistema descoberto encontram-se no Apêndice IV.

Por esta razão, recomenda-se a utilização de um sistema de compostagem coberta, com drenagem de percolado e impermeabilização do solo, que apresenta a vantagem fundamental de não depender das condições climáticas para o bom processamento do resíduo. Desta forma, a drenagem do pátio será somente utilizada quando houver produção de chorume, devido à rega excessiva das leiras, ou revolvimento insuficiente.

Como recomendação para praticar a sustentabilidade do pátio de compostagem, tem-se a utilização da água da chuva limpa para a rega das leiras e lavagem dos equipamentos. Através de um coletor simples na cobertura, a água escorre até um pequeno reservatório conectado com a rede pluvial já existente, que encaminhará o excedente de vazão que o reservatório não comporta. Com essa medida, evita-se a utilização dos recursos hídricos do sistema de abastecimento para usos menos nobres do pátio.

Considerando a demanda total do processo de 450L de água por mês para correção de umidade inicial da mistura, e mais uma possível utilização durante os revolvimentos, acredita-se que um reservatório com capacidade para 1000 L seja suficiente para suprir, pelo menos em parte, a demanda de água do pátio. Caso não seja suficiente, se utilizará água da rede normal do local. Este reservatório será uma caixa d'água enterrada e interligado com a rede de águas pluviais existente. A Figura 31 apresenta a localização exata.

Figura 31 - Localização do reservatório de águas pluviais



9.3.5 Drenagem

O primeiro ponto crítico é o acúmulo de água na área, que, caso fique sob as leiras pode levar à condição de anaerobiose devido ao excesso de umidade, prejudicando a eficiência do processo de compostagem. O segundo é que, devido à elevada quantidade de matéria orgânica, a água que entra em contato com a leira apresenta riscos, tornando-se um efluente perigoso, desse modo não deve ter contato com corpos d'água sem prévio tratamento. Por fim, vale citar que água acumulada pode atrapalhar a própria operação do sistema e das vias de acesso.

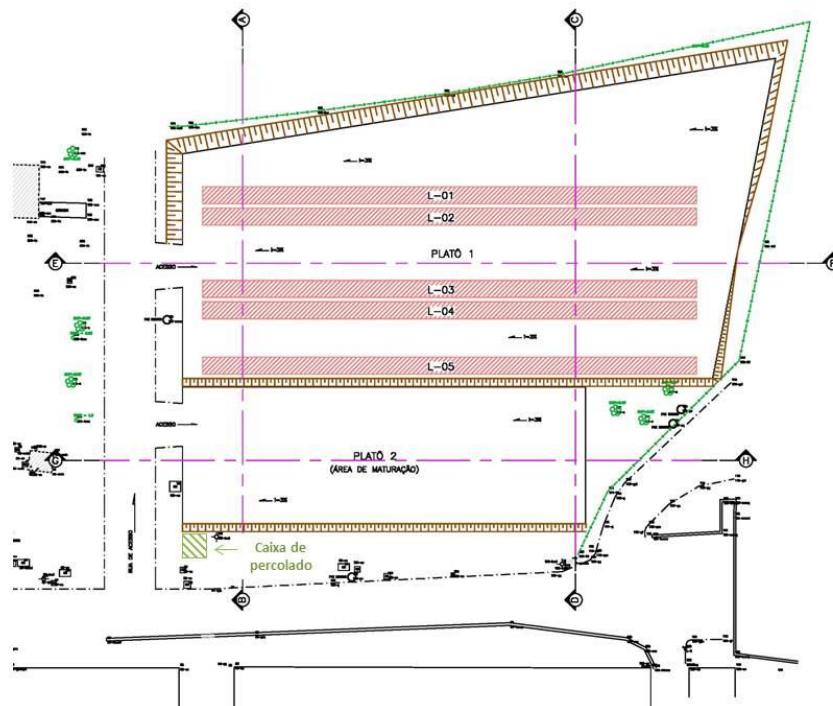
Não obstante esses três pontos, há duas peculiaridades do local que devem ser levadas em consideração: espaço restrito da Associação e índice pluviométrico elevado. Portanto, um plano de gerenciamento das águas pluviais com grande fator de segurança se faz extremamente necessário.

Com a decisão de se instalar uma cobertura em todo o pátio, o sistema de drenagem continua sendo necessário para evitar todos os problemas citados, mas terá suas dimensões muito reduzidas, e sua operação será muito simples.

Recomenda-se a instalação de uma pequena caixa de percolado impermeável na cota mais baixa do terreno, onde os drenos se encontram. Sua localização está descrita na Figura 32.

Para dimensionar essa caixa de percolado, considerou-se o estudo de Gorgati (2001) que apresenta o quanto uma leira coberta gera de chorume durante cada estação do ano. Considerando que a média de geração de chorume é de 11,5 L por mês no ano, para uma leira coberta de 6m², foi possível estimar a geração de chorume de uma leira coberta. Extrapolando para a geração da Associação, o volume acumulado durante um ano seria de 29,6 m³ de chorume. Considerando, a favor da segurança, um mês que gera 20% de todo o chorume do ano, propõe-se uma caixa de percolado de 6 m³, com dimensões de 2 x 3 m e 1 m de profundidade.

Figura 32 - Localização da caixa de percolado



Fonte: autores

9.3.6 Cobertura

A possibilidade de fazer a compostagem com cobertura possui diversas vantagens. Trabalhar em espaços cobertos, a salvo das intempéries, permite a estabilidade deste processo com a umidade adequada (50-60%), em qualquer condição geográfica ou climática. Isso permite um controle maior da temperatura e da umidade, dois parâmetros fundamentais na operação. Além disso, em locais com intensas chuvas, a cobertura evita uma formação exagerada de chorume de possa gerar elevados custos de tratamento. Alguns autores defendem inclusive que a cobertura protege os micro-organismos sensíveis à radiação UV, prolongando suas atividades de decomposição.

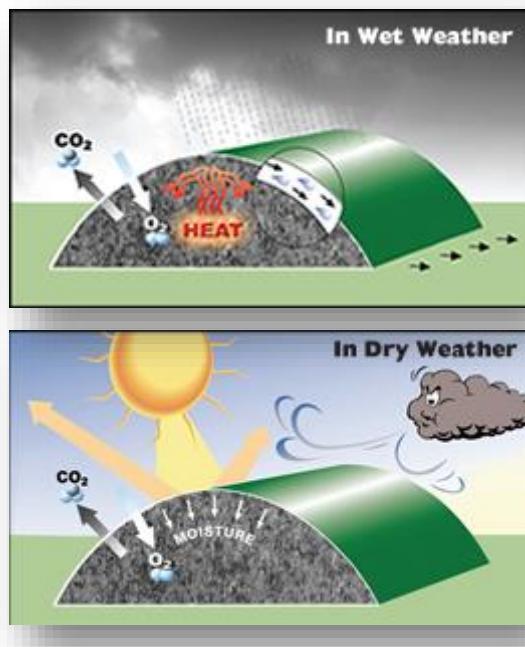
A análise da viabilidade da compostagem coberta levará em conta dois tipos de cobertura: com manta especial que permite troca gasosa, e com cobertura fixa, como um galpão que permita a entrada da retroescavadeira que a Associação já possui.

De acordo com o catálogo do modelo de retroescavadeira, a maior altura que sua pá atinge é de 4,790 m. Portanto, recomenda-se que a cobertura fixa do galpão seja de 6m. A estrutura do galpão deve contar com pilares centrados nas leiras, para não atrapalhar a circulação dos equipamentos na deposição e revolvimento do composto. Para este tipo de solução, devem ser levados em conta os esforços gerados pelo vento, e prever uma estrutura rígida e estável pode necessitar fundações no terreno e um custo muito elevado. Os custos associados às duas opções de cobertura serão abordados posteriormente neste relatório.

A outra opção de cobertura é uma membrana especialmente projetada para utilização em leiras de compostagem. Por se tratar de uma leira com revolvimento mecânico, a manta deve permitir trocas gasosas, para manter o acesso do composto ao oxigênio do ar, e ao mesmo tempo permitir que o gás carbônico gerado pela atividade microbiana seja liberado.

Um exemplo de produto utilizado para este fim é o Compostex®. Trata-se de uma manta (também conhecido como "lã de compostagem") cuja composição é completamente respirável, de membrana geotêxtil com 100% de polipropileno resistente aos raios UV. Ele impede completamente a penetração da precipitação

Figura 33 - Funcionamento da manta geotêxtil em tempo seco e úmido



nas leiras e tem vida útil de 4 a 10 anos aproximadamente, dependendo da utilização. O fabricante alerta, porém, que a manta não é capaz de impedir chuvas muito intensas com a mesma eficácia.

Fonte: CV COMPOST. Disponível em: <www.cvcompost.com/ccovers.php>. Acesso em: 08 nov. 2015.

A membrana geotêxtil é capaz de impedir a infiltração da água através da ação da capilaridade, gravidade, e as propriedades de coesão e tensão superficial entre as moléculas de água. Quando aplicado, no momento em que a manta se torna saturada com a água da chuva, a tensão superficial e a coesão fazem a água seguir o caminho de menor resistência e descer pela manta. A Figura 33 ilustra o funcionamento da Compostex®.

Desde 1994, a ComposTex® tem sido usada em mais de quinhentas instalações de compostagem em todo o mundo, melhorando assim a qualidade do produto, aumentando a eficiência operacional e reduzindo as perdas de nutrientes solúveis. Ela também é usada para proteger pilhas de sementes de plantas daninhas pelo vento, reduzir a perda de umidade do sol e do vento em climas ou condições secas, e limitar o acesso a pilhas de moscas e animais.

Esta tecnologia não é produzida no Brasil ainda, e a Compostex® precisa ser importada do Canadá. Existem outras tecnologias semelhantes produzidas em outros locais, mas a Compostex® foi escolhida para ser detalhada devido à sua experiência no mercado e comprovada eficiência. Os custos desta manta estão descritos na sessão de custos deste estudo, e a instalação é simples e demanda apenas pesos nas laterais para mantê-la no lugar. Em alguns locais são utilizados pneus para essa fixação.

Apesar de se apresentar como uma boa solução para o excesso de água dentro das leiras, a manta de geotêxtil não evita a geração de percolado, pois a chuva que incide sobre as leiras, mesmo que cobertas pela manta, entram em contato com uma elevada carga orgânica, e o excesso de água não poderá ser descartado sem o devido tratamento. Por essa razão, a alternativa que se apresenta como mais adequada é a cobertura fixa.

9.4 Operação

9.4.1 Rotina de trabalho

Baseando-se nas boas práticas coletadas em diversas referências bibliográficas, optou-se por fazer o revolvimento das leiras duas vezes por semana durante o período chuvoso, e uma vez por semana no período seco. Isso deve contribuir tanto com a manutenção da temperatura ideal nas leiras, quanto para garantir a umidade adequada no sistema. É importante, porém, que o monitoramento dos parâmetros seja realizado frequentemente, para ajustar as práticas do planejamento inicial do pátio.

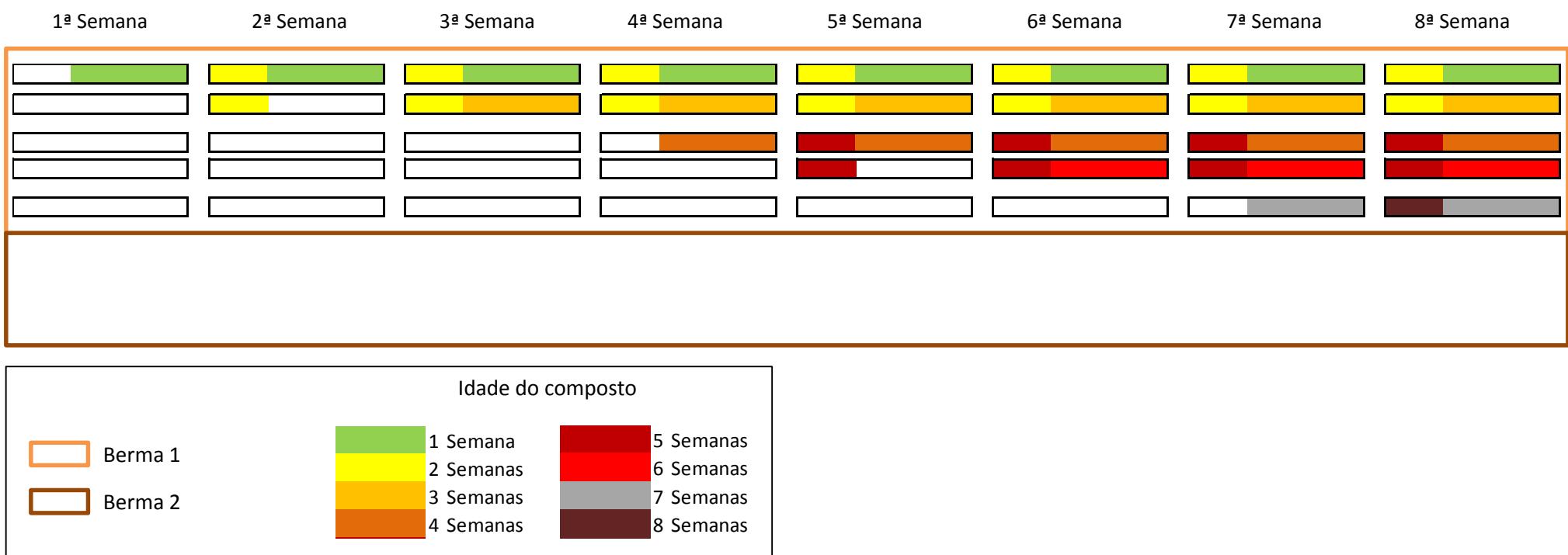
No dia em que houver revolvimento, também haverá deposição de novo material em leiras, com a mistura adequada dos resíduos de poda e cama de cavalo. Esses processos devem ocorrer no mesmo dia, pois o revolvimento libera novos espaços para os resíduos e os equipamentos e equipes são desmobilizados de forma eficiente.

Durante a fase de transição, ou seja, até 60 dias do início das atividades, haverá espaço de sobra no pátio para o revolvimento. Porém, o pátio foi dimensionado para ocupar o mínimo de espaço possível, e por isso, propõe-se uma

metodologia de revolvimento e formação de leiras desde o início. Para que o processo de compostagem por batelada funcione sem gargalos, deve-se iniciar a rotina sempre pelo revolvimento da leira mais antiga. Esta deve ser movida para o próximo espaço, e dar o seu lugar a próxima leira, e assim sucessivamente. A Figura 34 apresenta uma ilustração de como será o preenchimento do pátio de compostagem com os resíduos durante o regime transitório da operação (até 60 dias).

Figura 34 - Ilustração da operação do pátio na fase inicial

Operação transitória de início do pátio

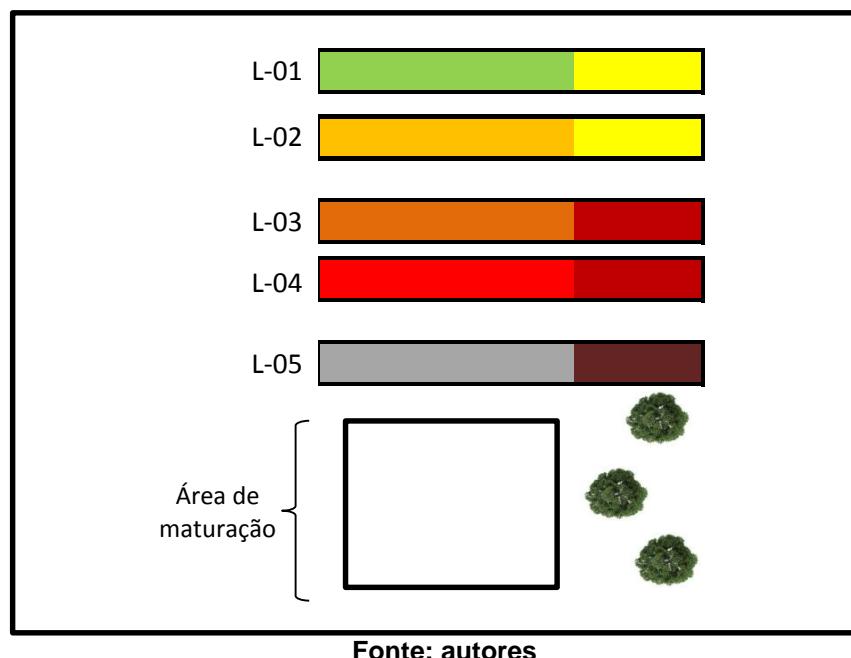


Quando o pátio estiver completamente ocupado, a metodologia segue a mesma. O processo deve ter início com o revolvimento da leira mais antiga do pátio para o processo de maturação, deixando espaço para as outras leiras. O espaço designado para a fase de maturação é a Berma 2, localizada em uma cota mais baixa, e que deve acumular o composto em forma de leira ou pilha por mais 30 dias. O composto estável e pronto para ser utilizado pode ser armazenado no mesmo local, com a devida identificação, até que seja utilizado como condicionante no solo.

Segundo Gorgati (2011), uma leira de compostagem reduz o seu tamanho durante o processo de decomposição, atingindo metade do volume inicial entre a 6^a e a 7^a semanas de compostagem. A definição da rotina de operação considerou, a favor da segurança e da simplificação, que apenas na 8^a semana o composto estaria com a metade do seu volume. A Figura 35 representa o pátio em operação normal, já ultrapassado o regime transitório.

Figura 35 - Ilustração da operação do pátio

Operação normal do pátio



O monitoramento dos parâmetros e temperatura e umidade nas leiras deve fazer parte da rotina dos operadores. No caso da temperatura, ela pode ser aferida

através de um termômetro especial, com uma haste metálica para medir diretamente no centro da leira. Depois de aferida, a temperatura deve ser anotada na planilha de controle do pátio e na sua placa de identificação. Na fase mesofílica, a temperatura deve estar entre 45°C e 55°C, enquanto que na fase termofílica, a temperatura deve se manter próxima a 55°C por aproximadamente um mês. Essas elevadas temperaturas contribuem para a eliminação de patógenos e de ervas daninhas. As altas temperaturas podem ser prejudiciais, pois ocorre volatilização do nitrogênio em forma de amônia e possível morte de microrganismo bioestabilizadores responsáveis pela transformação da matéria-prima em húmus.

A temperatura da leira está intimamente relacionada à sua umidade. Baixas temperaturas na fase termofílica indicam alta umidade, enquanto que altas temperaturas indicam pouca umidade. Por isso, o controle da temperatura pode ser feito através de revolvimento ou irrigação.

Com relação à umidade, a aferição não é tão simples. É recomendada a compra e utilização de uma estufa de secagem para avaliar a umidade em uma amostra de composto. Porém, sabe-se das limitações desse tipo de amostragem devido à demora da obtenção do resultado, já que algumas vezes a água pode levar dias para evaporar completamente. Em paralelo a este teste, recomenda-se uma avaliação tático-visual para avaliar se o composto está muito seco ou muito molhado. Com o tempo, os operadores adquirem experiência e calibram suas percepções através do uso da estufa, para que as decisões no pátio (necessidade de revolvimento ou de rega) sejam tomadas de forma ágil.

Para medir a umidade, deve-se pegar uma pequena amostra do composto e pesar em uma balança de boa precisão. Depois de 24 horas na estufa, outra pesagem é feita, e assim sucessivamente até a massa da amostra não apresentar mais significativa redução em 24 horas. A umidade com composto será a variação da massa da amostra dividida pela massa inicial. Esse dado deverá ser anotado na planilha de controle do pátio e na placa de identificação da leira.

Foi elaborado um Manual de Operação com linguagem mais simples e resumida para auxiliar no treinamento e operação do pátio de compostagem, que se encontra no Apêndice III – Manual de Operação do Pátio de Compostagem.

9.4.2 Estoque

Para operar o pátio de compostagem, estão previstas áreas de estoque de resíduos e de composto estável pronto para uso. Ambos os estoque são importantes para o processo, uma vez que o composto pronto pode ser utilizado como biofiltro para evitar odores, e os resíduos serão administrados conforme a necessidade de nutrientes e umidade na mistura.

Os resíduos de poda e cama de cavalo são armazenados em locais apropriados atualmente, não sendo necessária nenhuma mudança de estoque. Para o estoque de composto estável, a área de maturação será utilizada, com identificação adequada dos compostos que estão em diferentes fases. Devido à redução do volume do composto final em relação aos resíduos, além da alternação de armazenamento de leiras para pilhas, estima-se que a área da Berma2 é suficiente para armazenar o produto final.

9.4.3 Receita

Da Tabela 1 deste relatório, retiramos as informações dos nutrientes de cada resíduo que deve fazer parte do composto. Usando a média de contribuição dos dois maiores geradores de resíduos orgânicos da Associação, tem-se o balanço de nutrientes apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Balanço de nutrientes

	C	N	Massa (ton)
Hípico	13	1	9,89
Poda e capina	40	1	18,44
Mistura	30,58	1	28,32

Fonte: autores

Portanto, considerando a média de geração anual, a proporção de carbono e nitrogênio estará próxima da ideal, não sendo necessária nenhuma medida para correção de nutrientes.

Essa abordagem não esgota todas as possibilidades de cenários para o pátio de compostagem, e por isso a recomendação é que o controle de entrada de

resíduos seja feito através de balança. Para garantir a proporção C:N adequada, deve-se incluir 1,7 partes de resíduos de poda e jardinagem para cada parte de resíduo de cama de cavalo, em massa. Ou seja, para cada tonelada de cama de cavalo, incluir na mistura 1,7 toneladas de resíduos de poda devidamente triturados e processados com os equipamentos existentes no local, a moedora e a trituradora. A esta mistura, deve ser adicionada a quantidade de água apresentada por cálculos anteriores.

No caso de acúmulo de resíduos de poda, o procedimento indicado é incluir uma parte de composto estável para enriquecer a mistura com nitrogênio, já que ele possui tipicamente uma proporção de 10:1 de C:N. Para este caso de excesso de resíduos de poda, a proporção dele com o composto estável deve ser de 2 toneladas de poda para cada tonelada de composto estável. Este recurso não pode ser utilizado com muita frequência, pois retornar uma quantidade de composto estável ao processo desde o início aumenta a quantidade de resíduos a ser processada no pátio, e seu dimensionamento não conta com este incremento. Porém, existe uma folga para trazer segurança ao processo de compostagem, e que permite a reutilização do composto como incremento em poucos casos.

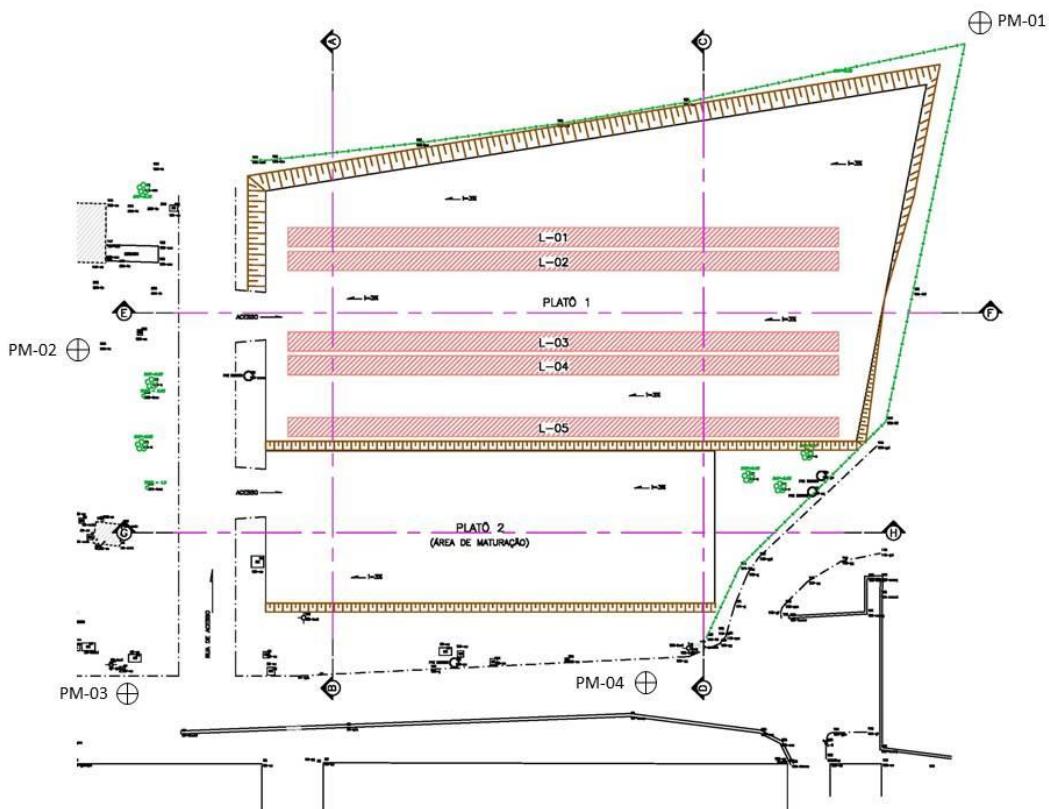
9.4.4 Monitoramento dos impactos ambientais

Considerando os impactos ambientais prováveis de ocorrer na operação do pátio de compostagem, recomenda-se um monitoramento do meio ambiente subterrâneo.

Para garantir que o sistema de impermeabilização está funcionando corretamente, é necessário um monitoramento da água subterrânea no entorno do pátio de compostagem. A recomendação é que os haja pelo menos 1 (um) poço a montante e 3 (três) poços a jusante no pátio, conforme localização exposta na .

Figura 36.

Figura 36 - Localização dos poços de monitoramento



Fonte: autores

É recomendado, também, que todos os parâmetros sejam analisados antes da instalação da planta de compostagem, verificando a condição inicial da água subterrânea, e verificando o nível d'água do terreno. Além do primeiro monitoramento antes do empreendimento, recomenda-se a coleta de uma campanha por ano, durante o período chuvoso.

Segundo o Manual de Ações Ambientais (NSDOE, 2010), os seguintes parâmetros devem ser analisados tanto para águas subterrâneas quanto para o lixiviado, quando aplicável:

- Alcalinidade, Cádmio, cálcio, cloreto, condutividade, magnésio, nitrato, ferro, chumbo, pH, potássio, sódio, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, sulfato, DBO, DQO.

9.4.5 Segurança do trabalho

O local onde ocorre a compostagem deve ser restrito, preferencialmente isolado por cercas e com controle de acesso, para evitar a entrada de pessoas estranhas ao processo ou animais. Por se tratar de um processo com resíduos de pouco risco à saúde humana e dos animais, na impossibilidade de cercar o local, recomenda-se a instalação de placas que evidenciem o perigo do local.

Nas atividades da rotina de operação do pátio de compostagem, os trabalhadores estão expostos com frequência a situações de risco geradas pela retroescavadeira e pela própria composição das leiras, que geraram uma poeira de material particulado que pode ser aspirado e podem conter patógenos e por isso o contato precisa ser evitado.

Para minimizar os riscos e a exposição dos trabalhadores, recomenda-se o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Treinamentos específicos que orientem os colaboradores como se deve operar uma usina de compostagem com segurança.

Os EPIs importantes para operação no pátio são: botas, luvas, protetor auricular, máscara respiratória e capacete. E os treinamentos precisam ser dados a todos os funcionários que passarão a trabalhar no pátio, com reciclagem dos conceitos pelo menos uma vez por ano. Aos funcionários que não trabalharão diretamente com a compostagem os treinamentos também são desejáveis, já que se trata de um local onde os colaboradores convivem e interagem.

9.4.6 Utilização do composto

A Associação possui demandas diferenciadas do composto, que deve servir majoritariamente as atividades de jardinagem nos diversos canteiros da sua sede. Além desses locais, extensos gramados também demandam uma quantidade razoável de composto para melhorar a capacidade de absorção dos nutrientes, reduzir a erosão nos taludes existentes, e evitar a troca de grama que é feita atualmente quando estas não cumprem mais sua função paisagística.

Em uma primeira estimativa, acredita-se que toda a produção de composto será absorvida internamente, dispensando a necessidade de regulação do produto

para venda. Porém, é fortemente recomendado que amostras periódicas sejam coletadas para análise de metais pesados, agentes patogênicos, substâncias tóxicas em geral. Desta forma, evita-se que o composto traga mais problemas do que benefícios para o solo.

A maneira que o composto deve ser aplicado no solo também é importante. O composto estável pode ser aplicado em cobertura ou em covas entre linhas da plantação. A aplicação deve ser de 15 a 20 dias antes do plantio, nas covas ou nas entrelinhas dos cultivos permanentes, duas vezes por ano. A quantidade aplicada varia de 10 a 15 toneladas por hectare/ano, dependendo do total de adubo preparado na propriedade.

Com uma produção mensal de 150m³ aproximadamente, a Associação deve planejar adequadamente a aplicação para não extrapolar o local de estoque previsto.

Além disso, é possível e recomendável que um gerenciamento de qualidade também seja feito baseado na utilização do lote. Para usos mais nobres como cultivo de mudas e orquidário, o composto pronto deve passar por um peneiramento e até pelo minhocário, para melhorar sua qualidade, através da vermicompostagem. Por demandar uma quantidade pequena, e estar próximo do minhocário, o orquidário e o cultivo de mudas se apresentam como potenciais recebedores deste composto de alta qualidade, mas podem ocorrer outras demandas além destas citadas.

9.4.7 Equipe de colaboradores

A equipe de funcionários da usina será composta por 1 (um) montador/revirador de leiras, 1 (um) funcionário que fará o monitoramento e 1 (um) supervisor que acompanhará a coleta de dados e tomará decisões sobre a operação da usina. Além disso, uma equipe de 5 (cinco) faxineiros fará a limpeza do local com periodicidade semanal.

9.5 Custos

9.5.1 Implantação

Licenciamento

Os custos para o licenciamento foram baseados no site da Cetesb para homologação de Parecer Técnico, conforme foi detalhado anteriormente. O custo para este processo é de 100 UFESP, ou atualmente R\$ 2.125,00.

Terraplanagem

Os custos para a movimentação de terra do local, tanto para corte e quanto para aterro, foram definidos a partir de consulta ao banco de preços da SABESP, um documento com o levantamento dos custos, unitários, de todas as atividades que são recorrentes nos projetos da empresa. Foi considerado no levantamento que parte da terra removida nos cortes será reutilizada para aterro. Desse modo o custo estimado desta etapa é R\$ 26.000,00

Drenagem: canais e reservatório

Também se baseando no banco de preços da SABESP, além de consulta a empresas de material de construção, determinou-se o valor total de R\$ 3000,00, que inclui a tubulação de PVC, a caixa de concreto de percolado mais a caixa d'água que será utilizada como reservatório

Impermeabilização

A impermeabilização ocorrerá em toda a área do pátio, o valor foi estimado de acordo com o indicado no documento da SABESP já citado. O custo total da aplicação da geomembrana é R\$ 100.000,00

Cobertura

Para a estimativa do custo de cobertura, foi utilizado um orçamento da empresa Gomes e Moraes estruturas metálicas, que se encontra no Anexo III deste relatório. De acordo com a conversa com o especialista de estruturas da empresa, uma estimativa de R\$50.000,00 seria adequada para definir o custo da fundação da cobertura, mas ele pode variar bastante dependendo da composição do solo no local. Com esse valor, o custo total da cobertura seria de R\$450.000,00.

Monitoramento

Os custos para instalação dos poços de monitoramento foram determinados pela experiência dos próprios autores do projeto, dois atualmente trabalham em consultorias ambientais e atuam na área de monitoramento de áreas contaminadas,

portanto é recorrente nos trabalhos a instalação de poços. A referência para o valor unitário foi a empresa ARCADIS. O valor total, para os quatro poços, é R\$ 10.000,00.

9.5.2 Operação

Equipamentos

A operação da planta contará com os equipamentos que a Associação já possui para a manutenção e para coleta e transporte dos resíduos, como a retroescavadeira, o caminhão com carroceria e outras carrocerias de pequeno porte que são utilizadas para colha de resíduos de poda em locais de difícil acesso. Além destes equipamentos, a Associação possui uma moedora e uma trituradora de galhos para eventuais resíduos de poda que estejam inadequados para disposição nas leiras. Sendo assim, o único custo de operação a ser contabilizado será o do combustível gasto nestas máquinas e os custos de manutenção preventiva – lavagem, troca de óleo e revisões de motor – e corretiva, em caso de alguma pane. Tais custos foram calculados e estão disponíveis no Apêndice VII – Projeção de custos.

Os equipamentos para monitoramento dos parâmetros da leira são: termômetro de imersão com pelo menos 60 cm de haste, balança com precisão de mg, estufa de secagem e copos de metal para utilização na estufa.

Mão de obra

Em posse dos equipamentos, os funcionários destinados ao trabalho na usina deverão receber treinamento adequado. O programa de treinamento deverá seguir o roteiro abaixo, baseado em Forgie, Sasser e Nager (2004):

1. Informação básica sobre compostagem:
 - a. O processo biológico e a fauna envolvida no processo;
 - b. O objetivo da compostagem:
 - i. Destrução de patógenos;
 - ii. Controle de qualidade.
2. Princípios da compostagem aeróbica

- a. Balanço de material utilizado;
 - b. Características do composto:
 - i. Umidade;
 - ii. Tamanho da partícula;
 - iii. Densidade do composto;
 - iv. Sólidos Voláteis.
 - c. Funções dos agentes formadores do composto
 - i. Controle de umidade;
 - ii. Porosidade e aeração;
 - iii. Geometria da leira;
 - iv. Receita nutricional (Balanço C:N).
 - d. Princípios básicos de aeração
 - i. Demanda por oxigênio;
 - ii. Aeração como um meio de controle de temperatura.
3. Aspectos básicos do projeto
- a. Revolvimento
 - i. Controle de sólidos e umidade;
 - ii. Importância da homogeneidade;
 - iii. Eficácia do equipamento de revolvimento;
 - iv. Controle de odores.
 - b. Leira de compostagem
 - i. Construção das leiras
 - 1. Altura;
 - 2. Geometria.
 - ii. Frequência de revolvimento;
 - iii. Equipamento para o revolvimento.

- iv. Controle de odores.
 - c. Triagem do composto;
 - d. Maturação;
 - e. Estocagem do produto.
4. Monitoramento
- a. Marcação das leiras;
 - b. Coleta de temperaturas e registro através de planilhas;
 - c. Análise de umidade;
 - d. Análise de oxigênio;
 - e. Análise de controle de qualidade:
 - i. Amostra;
 - ii. Teste;
5. Controle de Odores
- a. Biofiltração
 - i. Projeto dos biofiltros;
 - ii. Manutenção dos biofiltros;
 - 1. Controle de umidade;
 - 2. Queda de pressão;
 - 3. Determinação do tempo de reposição do biofiltro.
 - b. Gestão do processo.
6. Registros
- a. Armazenagem dos registros;
 - i. Tipos de registros e importância;
 - ii. Planilhas de monitoramento diárias;
 - iii. Registro constante de material utilizado.
 - b. Revisão da regulamentação.

7. Solução de problemas

- a. Problemas com odores;
- b. Problemas com controle de patógenos – tempo e temperaturas adequados;
- c. Prevenção à contaminação;
- d. Equipamentos.

8. Medidas de segurança

- a. Maquinário;
- b. Poeira e fungos;
- c. Micro-organismos;

9. Armazenagem de resíduos

- a. Controle de qualidade;
- b. Teste de produtos;
- c. Registros;
- d. Análises de mercado.

O custo de realização deste treinamento não foi contabilizado, pois a equipe está disponível a prestar este serviço de forma proativa.

De acordo com o plano de operação da usina, 1 (um) funcionário será utilizado para remanejamento das leiras e consequente revolvimento das mesmas, com frequência semanal. Além disso, será necessário outro colaborador para coletar as amostras de controle e monitoramento do processo diariamente. Por fim, uma equipe deverá ser acionada uma vez por semana para limpeza do local e dos arredores, prática essencial para manutenção da higiene e saúde do ambiente de trabalho.

EPIs

Os EPIs necessários para o operador da retroescavadeira serão: 1 (um) óculos de proteção, 1 (uma) máscara protetora das vias nasais e orais, 1 (um)

protetor auricular, 1 (um) par de luvas e 1 (um) calçado fechado. Tudo isso custará R\$64,00 por mês de acordo com o Apêndice VII – Projeção de custos.

Para o responsável pela coleta das amostras bastará 1 (um) par de sapatos fechados, calça comprida e luvas.

A equipe de limpeza já deverá vir com o uniforme adequado e, portanto, seu custo com EPI não será contabilizado.

9.5.3 Análise de investimento

Foi feita uma breve análise de investimento com base no investimento inicial necessário para implantar a usina e nos dispêndios mensais para operação da unidade.

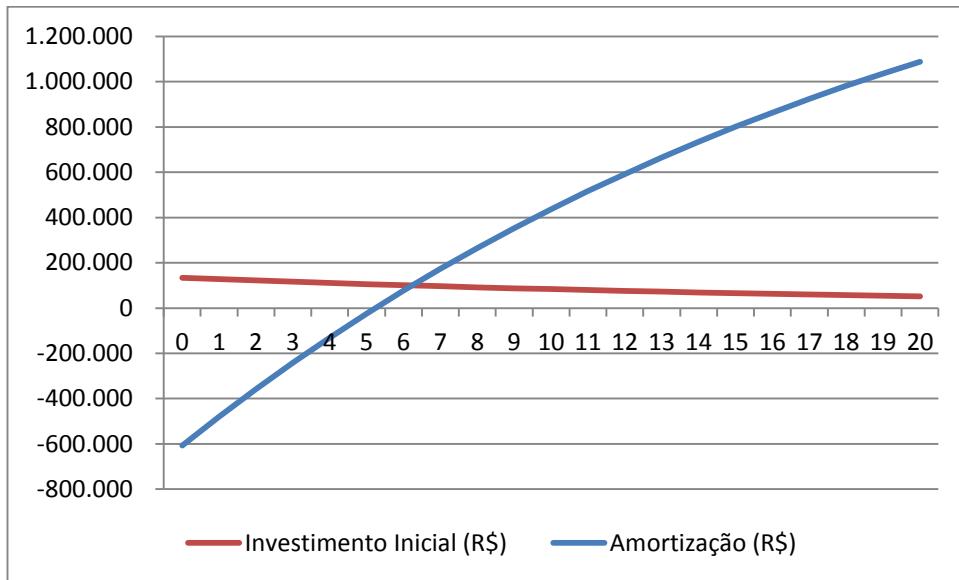
Além disso, estima-se com base em dados fornecidos pela Associação que o gasto atual com compra de insumos e com destinação de resíduos totaliza R\$15.000,00 mensais. Tendo em vista o objetivo da produção de insumos pela usina, assumimos que esta seria a economia mensal gerada pelo empreendimento e assim comporia a linha de receitas da análise. Naturalmente, esta receita não representa um recebimento efetivo de capital, mas tendo em vista o propósito da análise de viabilidade da operação, foi feita esta premissa.

A fim de adicionar realidade à análise, supõem-se algumas despesas da usina crescendo em linha com a inflação do país, representada pelo IPCA e estima-se um lucro anualizado.

Por fim, desconta-se o fluxo de caixa da usina com base no CDI atual de 14.25%, em um período de 20 anos, que consideramos como a vida útil do empreendimento.

Finalmente, a análise aponta um *payback* de aproximadamente 6 anos, o que consideramos satisfatório dada a vida útil estimada do empreendimento. Vale ressaltar que está é uma análise simplificada para dar uma noção de retorno para a Associação e que não contempla diversas variáveis, que podem alterar em grande quantia o *payback* estimado. O resultado é apresentado no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Tempo de retorno do investimento



10 RECOMENDAÇÕES

Algumas práticas podem ser citadas como recomendações para o pátio de compostagem, dentre elas um criterioso monitoramento dos parâmetros das leiras. Os parâmetros de umidade, temperatura e nutrientes são a essência de uma compostagem eficiente. Para a umidade, por exemplo, o investimento em um sistema de determinação analítica do teor de umidade é a melhor alternativa para controlar esse parâmetro. No caso da temperatura, a medição no interior da leira, sempre no período de maior insolação, é essencial para compreender a fase de decomposição em que está a mistura, e a necessidade de revolvimento ou rega. Já as quantidades de nutrientes, ou seja, os teores de carbono e nitrogênio presentes nos resíduos e no composto só podem ser aferidos em laboratório. Por isso, recomenda-se o envio de amostras de resíduos no início do processo, para averiguar se os valores adotados neste estudo estão coerentes. Uma atenção especial deve ser tomada para coleta de amostras de resíduos, que precisam ser representativas. Para isso, recomenda-se a Trituração dos resíduos de poda e homogeneização destes resíduos bem como de cama de cavalo para depois amostrar.

Concluídas as recomendações para uma operação eficiente, vale adicionar sugestões para o controle dos impactos e riscos gerados pela atividade do pátio. Para tentar isolar os impactos do pátio das atividades no entorno, recomenda-se

uma zona de buffer com vegetações densas, como arbustos ou bambu, que é uma planta que cresce rapidamente e ajuda no isolamento do perímetro do pátio. Para a comunidade do entorno, é fundamental informar o início das atividades com uma orientação adequada do que será realizado no pátio, quais são os riscos destas atividades e um meio de comunicação para informar possíveis reclamações no futuro. Desta forma, cria-se uma relação de transparência com a comunidade do entorno.

Com relação aos riscos gerados pela operação dentro do pátio, recomenda-se fortemente o uso de EPIs e o controle de entrada na área. A informação de área restrita deve estar visível através de placas de sinalização, bem como a obrigatoriedade do uso de EPIs. Uma medida efetiva para reduzir os riscos de acidentes é o oferecimento de treinamentos aos colaboradores envolvidos direta ou indiretamente com a compostagem. Conforme apresentado anteriormente, o Apêndice III – Manual de Operação do Pátio de Compostagem pode ser útil no treinamento dos operadores.

11 CONCLUSÃO

Durante a elaboração do projeto foram constatadas as diversas questões e desafios que permeiam a temática da compostagem. O primeiro ponto crítico é a pequena referência teórica sobre o assunto, a bibliografia sobre o assunto é curta, isso se deve ao fato de o assunto ser recente, e a maior parte dos estudos e projetos sobre o tema se iniciaram há pouco tempo. Isso torna a implantação dos projetos de compostagem difícil e imprecisa, o processo ainda tem decisões com alto grau empírico, sendo um desafio a que os autores tiveram de enfrentar. Esse problema torna clara a importância deste trabalho. Há uma grande demanda por produção intelectual sobre o tema e este estudo contribui para aumentar o volume de referências sobre a compostagem, podendo servir, futuramente, para consulta estudantil ou mesmo para implantação de projetos similares.

Outro fator crítico é ao cuidado com que o processo tem que ser tratado. Os resíduos oferecem perigo de contaminação ambiental e tem o potencial de incômodo para os habitantes da região de implantação. Deste modo, as decisões de engenharia neste trabalho tiveram sempre, em seu cerne, o foco na segurança ambiental e do trabalho, o que, muitas vezes encareceu a obra. Além disso, a operação teve de ser estudada em detalhes para fornecer as orientações aos trabalhadores e responsáveis que seguissem os mesmos preceitos de segurança.

Apesar do custo inicial para a implantação do pátio de compostagem ser elevado, a análise financeira de longo prazo indica a vantagem econômica aos interessados, mostrando que o investimento se paga em 6 anos devido ao abatimento de custos de aquisição de adubo e destinação de resíduos. A implementação do projeto é altamente recomendada.

Sob a ótica ambiental a importância do projeto é indiscutível. As vantagens são inúmeras, a redução do volume de resíduos a serem aterrados contribui para o aumento da vida útil dos aterros sanitários; diminuem as emissões de gases do efeito estufa liberados no transporte dos resíduos; evita a geração, transporte e tratamento de lixiviados; promove mobilização social com conscientização do cidadão sobre sua própria atividade geradora, com desenvolvimento de um sentido maior de responsabilidade, além de potencial desenvolvimento de agricultura e hortas na Associação. A compostagem oferece a revalorização econômica do

resíduo, facilitando a diminuição de uso de novas matérias primas e está alinhada com as novas e melhores políticas ambientais para resíduos sólidos, oferecendo tratamento ao invés de disposição, acima na cadeia hierárquica indicada para lidar com resíduos. O projeto pode servir de modelo e incentivo para que similares sejam desenvolvidos.

A simplicidade de implantação e operação de um pátio de compostagem, somadas aos ganhos ambientais e econômicos sugeridos no estudo viabilizam a execução do pátio de compostagem na AELG.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **ABNT NBR 10004/2004. Resíduos Sólidos.** 2004.

AFONSO, D.T. Portugal, **Problemática dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em Portugal.** Disponível em <http://compostagem.no.sapo.pt/Compostagem_1.htm>

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos.** São Carlos: EESC-USP, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Plano Nacional de Saneamento Básico.** Brasília, 2013. Disponível em
<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Conselho_Nacionais_020520131.pdf acesso em 18/06/2015.>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos.** Brasília, 2010.

BRASIL. Lei Federal número 12305 – « **Política Nacional de Resíduos Sólidos** », Brasília, 2 de agosto de 2010. Disponível em
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm . Acesso em 15 set. 2012 e 4 de novembro de 2012

DINDAL, D. L. Soil organisms and stabilizing wastes. Compost Science/ Land Utilization. 1978.

EVANYLO, G. K. et al. **The Virginia Yard-Waste Management Manual.** Department of Crop and Soil Environmental Sciences. Virginia Tech. Blacksburg, Virginia. Second Edition. 2009.

Forgie, D.J.L.; Sasser, L.W.; Neger, M.K. **Compost Facility Requirements Guideline: How to Comply with Part 5 of the Organic Matter Recycling Regulation;** Ministry of Water Land and Air Protection: British Columbia, Canada, 2004.

GOOGLE, Programa Google Earth, 2006.

GORGATI, Cláudia Queiroz. Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais - município de São Lourenço da Serra - SP: compostagem e impacto ambiental. 2001. xiii, 75 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2001. Disponível em:
<http://hdl.handle.net/11449/101902>

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2009.

OHIO UNIVERSITY. Office of Sustainability. Disponível em <<https://www.ohio.edu/sustainability/programs/compost.cfm>> Acessado em 18/06/2015

PICHTEL, J. **Waste Management Principles: Municipal, Hazardous, Special Wastes**. CRC Press, Boca Raton, FL. 2005.

RICHARD, T.L. **The Key to Successful MSW Compost Marketing**, BioCycle.1992.
SP Recicla – Plano Municipal de Resíduos. Disponível em <<http://sprecicla.com.br/>>. Acesso em 29/05/2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Composting of Yard Trimmings and Municipal solid Waste**. Office of Solid Waste and Emergency Response. 1994

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **DECISION MAKER'S GUIDE TO SOLID WASTE MANAGEMENT**. Vol. II. 1994

UNIVERSITY OF CONNECTICUT COOPERATIVE EXTENSION SERVICE (UCONN CES). **Leaf composting: A guide for municipalities**. Hartford, CT: State of Connecticut Department of Environmental Protection, Local Assistance and Program Coordination Unit, Recycling Program.1989

VERAS, L. R. V.; POVINELLI, J. **A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano**. Eng. sanit. amb. Vol.9, n. 3, p. 218-224, 2004.

VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY. **The Virginia Yard-Waste Management Manual**. Second Edition.Virginia, 2009

ALBERTA ENVIRONMENT & OLDS COLLEGE. Mid-Scale Composting Manual, 1st Edition. Alberta, 2009

13 APÊNDICES

Apêndice I – Tabelas de geração de resíduos

Poda, Varrição e Jardinagem

Caçamba 30m² / Poda & Varrição							
Mês/2010	Qtde.	Valor Caçamba	Total caçamba	Ton	Valor tonelada	Total tonelada	TOTAL
dez/09	7	380,00	2.660,00	72,76 0	70,00	5.093,20	7.753, 20
jan/10	9	380,00	3.420,00	80,42 0	70,00	5.629,40	9.049, 40
fev/10	11	380,00	4.180,00	79,13 0	70,00	5.539,10	9.719, 10
mar/10	13	380,00	4.940,00	92,35 0	70,00	6.464,50	11.40 4,50
abr/10	13	380,00	4.940,00	94,07 7	70,00	6.585,39	11.52 5,39
mai/10	13	380,00	4.940,00	77,26 0	70,00	5.408,20	10.34 8,20
jun/10	12	380,00	4.560,00	95,62 0	70,00	6.693,40	11.25 3,40
jul/10	9	380,00	3.420,00	77,01 0	70,00	5.390,70	8.810, 70
ago/10	12	380,00	4.560,00	69,55 0	70,00	4.868,50	9.428, 50
set/10	10	380,00	3.800,00	56,38 0	70,00	3.946,60	7.746, 60
out/10	8	380,00	3.040,00	65,89 0	70,00	4.612,30	7.652, 30
nov/10	10	380,00	3.800,00	70,74 0	70,00	4.951,80	8.751, 80
dez/10	8	406,64	3.253,12	72,01 0	74,91	5.394,27	8.647, 39

Caçamba 30m² / Poda & Varrição							
Mês/2011	Qtd e.	Valor Caçamba	Total caçamba	Ton	Valor tonelada	TOTAL tonelada	TOTAL
jul/11	3	350,00	1.050,00	17,81 0	85,00	1.513,85	2.563,8 5
ago/11	7	350,00	2.450,00	41,41 0	85,00	3.519,85	5.969,8 5
set/11	11	350,00	3.850,00	72,75 0	85,00	6.183,75	10.033, 75
out/11	13	350,00	4.550,00	102,2 50	85,00	8.691,25	13.241, 25
nov/11	8	350,00	2.800,00	58,35 0	85,00	4.959,75	7.759,7 5
dez/11	3	350,00	1.050,00	36,11 0	85,00	3.069,35	4.119,3 5
Total anual							43.687, 80

Caçamba 30m³ varrição & Poda de Árvores							
Mês/20	Qtd	Valor	Total	Ton	Valor	Total	TOTAL
	e.	Caçamba	caçamba		tonelada	tonelada	
12 abr/12	9	330,00	2.970,00	58,9 30	84,00	4.950,12	7.920,1 2
mai/12	12	330,00	3.960,00	93,0 60	84,00	7.817,04	11.777, 04
jun/12	11	330,00	3.630,00	68,0 00	84,00	5.712,00	9.342,0 0
jul/12	14	330,00	4.620,00	84,4 80	84,00	7.096,32	11.716, 32
ago/12	13	330,00	4.290,00	73,5 10	84,00	6.174,84	10.464, 84
set/12	10	330,00	3.300,00	59,4 8	84,00	4.996,32	8.296,3 2
out/12	17	330,00	5.610,00	98,8 50	84,00	8.303,40	13.913, 40
nov/12	10	330,00	3.300,00	78,2 90	84,00	6.576,36	9.876,3 6
dez/12	6	330,00	1.980,00	31,7 90	87,00	2.670,36	4.650,3 6
Total anual							87.956, 76

Caçamba 30m³ varrição& Poda de Árvores							
Mês/20	Qtd	Valor	Total	Ton	Valor	Total	TOTAL
	e.	Caçamba	caçamba		tonelada	tonelada	
13 jan/13	23	330,00	7.590,00	199, 83	84,00	16.785,72	24.375,7 2
fev/13	20	330,00	6.600,00	234, 57	84,00	19.703,88	26.303,8 8
mar/13	18	330,00	5.940,00	147, 24	84,00	12.368,16	18.308,1 6
abr/13	11	330,00	3.630,00	77,2 3	84,00	6.487,32	10.117,3 2
mai/13	7	330,00	2.310,00	49,3 7	84,00	4.147,08	6.457,08
jun/13	5	330,00	1.650,00	30,3 9	84,00	2.552,76	4.202,76
jul/13	13	330,00	4.290,00	93,8 9	84,00	7.886,76	12.176, 6
ago/13	9	330,00	2.970,00	38,2 4	84,00	3.212,16	6.182,16
set/13	9	330,00	2.970,00	34,8 3	84,00	2.925,72	5.895,72
out/13	9	330,00	2.970,00	53,0 8	84,00	4.458,72	7.428,72
nov/13	6	330,00	1.980,00	24,3 8	84,00	2.047,92	4.027,92
dez/13	7	330,00	2.310,00	43,1 5	84,00	3.624,60	5.934,60

Total anual 131.410,
80

Caçamba 30m³ varrição& Poda de Árvores							
Mês/2014	Qtd e.	Valor Caçamba	Total caçamba	Ton	Valor tonelada	Total tonelada	TOTAL
jan/14	8	330,00	2.640,00	62,29	84,00	5.232,36	7.872,36
fev/14	5	330,00	1.650,00	34,92	84,00	2.933,28	4.583,28
mar/14	13	330,00	4.290,00	143	84,00	12.012,00	16.302,00
abr/14	10	330,00	3.300,00	86,53	84,00	7.268,52	10.568,52
mai/14	10	330,00	3.300,00	63,79	84,00	5.358,36	8.658,36
jun/14	12	330,00	3.960,00	60,62	84,00	5.092,08	9.052,08
jul/14	9	330,00	2.970,00	53,28	84,00	4.475,52	7.445,52
ago/14	11	330,00	3.630,00	55,39	84,00	4.652,76	8.282,76
set/14	11	500,00	5.500,00	71,80	98,00	7.036,40	12.536,40
out/14	17	500,00	8.500,00	87,97	98,00	8.621,06	17.121,06
nov/14	12	500,00	6.000,00	21,82	98,00	2.138,36	8.138,36
dez/14	14	500,00	7.000,00	128,20	98,00	12.563,60	19.563,60
Total anual						130.124,30	

Caçamba 30m³ varrição& Poda de Árvores							
Mês/2015	Qtd e.	Valor Caçamba	total caçamba	Ton	Valor tonelada	total tonelada	TOTAL
jan/15	13	500,00	6.500,00	76,5 4	98,00	7.500,92	14.000, 92
fev/15	9	500,00	4.500,00	78,2 4	98,00	7.667,52	12.167, 52
mar/15	12	500,00	6.000,00	108, 1	98,00	10.593,80	16.593, 80

abr/15	7	500,00	3.500,00	40,1 1	98,00	3.930,78	7.430,7 8
mai/15	5	450,00	2.250,00	56,5 6	98,00	5.033,84	7.283,8 4
jun/15							
jul/15							
ago/15							
set/15							
out/15							
nov/15							
dez/15							
Total anual						50.193, 02	

Hípico – cama de cavalo

Volume (m ³)	mês/ano
-----------------------------	---------

100	11/2009
120	12/2009
160	1/2010
160	2/2010
140	3/2010
180	4/2010
140	5/2010
160	6/2010
140	7/2010
160	8/2010
140	9/2010
140	10/2010
180	11/2010
160	12/2010
180	1/2011
140	2/2011
140	3/2011
160	4/2011
120	5/2011
180	6/2011
160	7/2011
160	8/2011
160	9/2011
180	10/2011
160	11/2011
160	12/2012
160	1/2012
180	2/2012
160	3/2012
160	3/2012
140	5/2012
160	6/2012
160	7/2012
160	8/2012
140	9/2012
160	10/2012

120	11/2012
180	12/2012
160	1/2013
160	2/2013
120	3/2013
160	4/2013
200	5/2013
180	6/2013
160	7/2013
180	8/2013
200	9/2013
180	10/2013
160	11/2013
120	12/2013
120	1/2014
180	2/2014
140	3/2014
160	4/2014
160	5/2014
180	6/2014
100	7/2014
200	8/2014
180	9/2014
180	10/2014
180	11/2014
160	12/2014
180	1/2015
180	2/2015
160	3/2015
180	4/2015
160	5/2015
100	6/2015

Apêndice II – Pesquisa para atribuição de pesos na Análise Multicritérios

Defina um valor de importância para cada sub-critério social abaixo: *

Sendo 1 o menos importante e 5 o mais importante

	1	2	3	4	5
Segurança ocupacional	<input type="radio"/>				
Geração de emprego	<input type="radio"/>				
Perturbação do entorno (odor desagradável e barulho)	<input type="radio"/>				

Defina um valor de importância para cada sub-critério econômico abaixo: *

Sendo 1 o menos importante e 5 o mais importante

	1	2	3	4	5
Custo de operação	<input type="radio"/>				
Custo de implantação	<input type="radio"/>				

Defina um valor de importância para cada sub-critério técnico abaixo: *

Sendo 1 o menos importante e 5 o mais importante

	1	2	3	4	5
Complexidade de operação	<input type="radio"/>				
Qualidade do composto	<input type="radio"/>				
Área necessária para o projeto	<input type="radio"/>				
Sensibilidade ao clima	<input type="radio"/>				
Tempo de estabilização do composto	<input type="radio"/>				

Espaço livre para comentários:

(opcional)

Submit

Never submit passwords through Google Forms.

 100%: You made it.

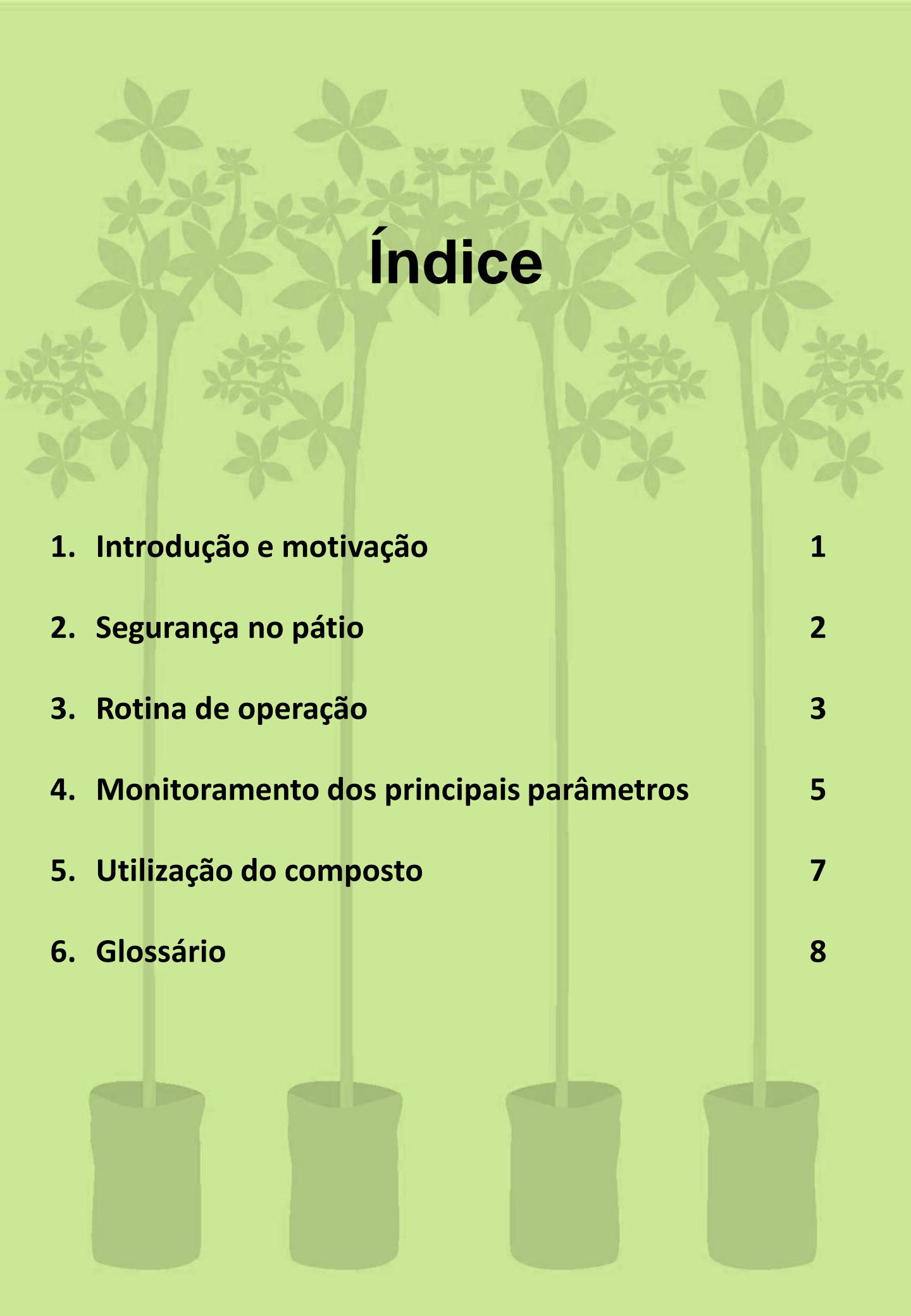


Apêndice III – Manual de Operação do Pátio de Compostagem

Manual de operação do Pátio de Compostagem

**Associação de
Esporte e Lazer do
Guarapiranga (AELG)**

Outubro/2015



Índice

1. Introdução e motivação	1
2. Segurança no pátio	2
3. Rotina de operação	3
4. Monitoramento dos principais parâmetros	5
5. Utilização do composto	7
6. Glossário	8

Introdução

O que é compostagem?

É a produção do composto orgânico formado por matéria orgânica humificada, obtida a partir da transformação (decomposição biológica) de restos orgânicos (sobras de culturas, frutas, verduras, dejetos de animais, etc.) pela ação microbiana do solo.

A compostagem é uma alternativa de tratamento do lixo que gera um produto que melhora a qualidade do solo, reduz o gasto com a destinação, e diminui significativamente os impactos ambientais dos resíduos em comparação à destinação usual em aterros sanitários. Este produto é chamado de composto, e é similar a um adubo orgânico.

Vantagens do uso do composto:

- ✓ Aumenta a capacidade das plantas na absorção de nutrientes fornecendo substâncias que estimulam seu crescimento.
- ✓ Facilita a aeração do solo, retêm a água e reduz a erosão provocada pelas chuvas;



A compostagem gera odor desagradável?

O cheiro do composto se assemelha ao cheiro de adubo orgânico. Quando tratado da nas condições certas, a compostagem não gera odor nem chorume. Seu processo pode atrair algumas moscas, mas não atrai vetores como ratos e baratas se não tiver comida ou restos de alimentos disponíveis no local.



Segurança no pátio

Os operadores do pátio de compostagem devem estar constantemente atentos aos equipamentos pesados como a retroescavadeira, e evitar o contato direto com os resíduos que podem conter agentes patogênicos (que causam doenças) ou perfuro-cortantes.

Principais preocupações
no pátio

Retroescavadeira
Resíduos
Leiras

A utilização dos equipamentos de segurança minimiza os possíveis impactos causados nos trabalhadores, devido a geração de ruído, poeira, odor, e vapor. Além disso, reduz o risco de acidentes com objetos cortantes e com equipamentos pesados como a retroescavadeira.

O treinamento dos colaboradores é fundamental para garantir que sejam praticadas as recomendações de operação para a segurança individual. Principalmente por se tratar de uma nova operação, a rotina de cuidados deve ser repassada até se tornar uma prática comum a todos.



O local do pátio deve ter acesso restrito às pessoas autorizadas. Na impossibilidade de cercar a área, avisos claros devem ser posicionados para evitar a entrada de pessoas estranhas à operação.



Rotina de operação

Para a compostagem funcionar bem, deve-se garantir uma quantidade de nutrientes (principalmente carbono e nitrogênio) adequada na mistura inicial. Esses nutrientes estão no próprio resíduo, que deve formar uma mistura baseada em uma proporção adequada, semelhante a uma receita.

A recomendação é que o controle de entrada de resíduos seja feito através de balança. Para garantir a proporção adequada, deve-se incluir 1,7 partes de resíduos de poda e jardinagem para cada parte de resíduo de cama de cavalo, em massa. Ou seja, para cada tonelada de cama de cavalo, incluir na mistura 1,7 toneladas de resíduos de poda devidamente triturados e processados com os equipamentos existentes no local, a moedora e a trituradora. A esta mistura, deve ser adicionado 100 litros de água por cada nova leva de resíduos.



No caso de acúmulo de resíduos de poda, o procedimento indicado é incluir uma parte de composto estável para enriquecer a mistura . A proporção dele com o composto estável deve ser de 2 toneladas de poda para cada 1 tonelada de composto estável. Este recurso não pode ser utilizado com muita frequência, pois pode gerar um aumento muito grande de volume nas leiras.



Rotina de operação

O revolvimento das leiras será feito duas vezes por semana durante o período chuvoso, e uma vez por semana no período seco. Isso deve contribuir tanto com a manutenção da temperatura ideal nas leiras, quanto para garantir a umidade adequada no sistema. No dia em que houver revolvimento, também haverá deposição de novo material em leiras, com a mistura adequada. Esses processos devem ocorrer no mesmo dia, pois o revolvimento libera novos espaços para os resíduos e os equipamentos e equipes são desmobilizados de forma eficiente.



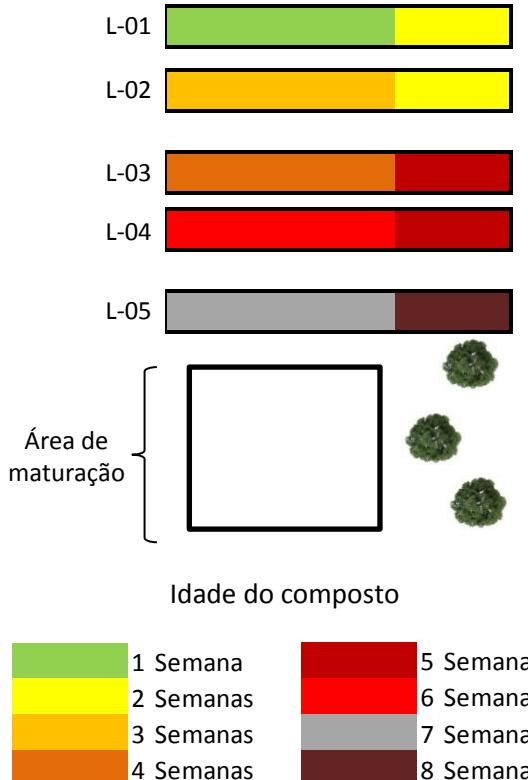
2 vezes/semana no período chuvoso (verão)



1 vez/semana no período seco (inverno)

Operação normal do pátio

O processo deve ter início com o revolvimento da leira mais antiga do pátio para o processo de maturação, deixando espaço para as outras leiras. O espaço designado para a fase de maturação é a Berma 2, localizada em uma cota mais baixa, e que deve acumular o composto em forma de leira ou pilha por mais 30 dias. O composto estável e pronto para ser utilizado pode ser armazenado no mesmo local, com identificação, até sua utilização.



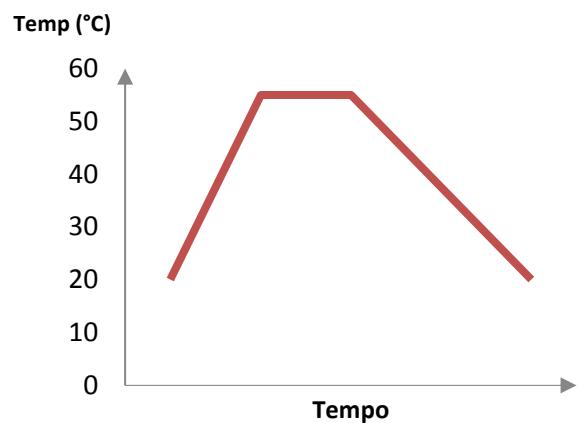
Monitoramento

Temperatura

A temperatura no interior da leira deve ser controlada para monitorar o andamento da decomposição, e definir a quantidade de revolvimentos ideal para o processo.

A temperatura no primeiro mês deve aumentar gradativamente até a faixa de 55°C. Atingida essa temperatura, mantém-se a leira nesta faixa por mais um mês, e depois ela passa a cair até atingir a temperatura ambiente.

A temperatura da leira está intimamente relacionada à sua umidade. Baixas temperaturas indicam alta umidade, enquanto que altas temperaturas indicam pouca umidade. Por isso, o controle da temperatura pode ser feito através de revolvimento ou irrigação (que reduzem a temperatura).



Revolvimentos

↓ Umidade

↓ Temperatura

Para medir a temperatura dentro da leira, será utilizado um termômetro com uma barra metálica inserido até o centro da leira. Depois de medida, a temperatura deve ser anotada na planilha de controle do pátio e na sua placa de identificação.



Monitoramento

Umidade

É recomendada a compra e utilização de uma estufa para avaliar a umidade em uma amostra de composto. Porém, sabe-se das limitações desse tipo de amostragem devido à demora da obtenção do resultado, já que algumas vezes a água pode levar dias para evaporar completamente. Em paralelo a este teste, recomenda-se uma avaliação tátil-visual para avaliar se o composto está muito seco ou muito molhado. Com o tempo, os operadores adquirem experiência e calibram suas percepções através do uso da estufa, para que as decisões no pátio (necessidade de revolvimento ou de rega) sejam tomadas de forma ágil.

A correção da umidade pode ser feita através do **revolvimento** ou da **irrigação**. A **irrigação** será feita com o **percolado** extraído das leiras ou com a **água da chuva** armazenada no reservatório.

Para medir a umidade, deve-se pegar uma pequena amostra do composto e pesar em uma balança de boa precisão. Depois de 24 horas na estufa, outra pesagem é feita, e assim sucessivamente até a massa da amostra não apresentar mais significativa redução em 24 horas. A umidade com composto será a variação da massa da amostra dividida pela massa inicial. Esse dado deverá ser anotado na planilha de controle do pátio e na placa de identificação da leira.



Exemplo de estufa de secagem



Utilização do composto

O composto estável pode ser aplicado em cobertura ou em covas entre linhas da plantação. A aplicação deve ser de 15 a 20 dias antes do plantio, nas covas ou nas entrelinhas dos cultivos permanentes, duas vezes por ano. A quantidade aplicada varia de 10 a 15 toneladas por hectare/ano, dependendo do total de adubo preparado na propriedade.

Diferentes cultivos podem exigir níveis de qualidade de composto diferentes. Para algumas espécies ornamentais, por exemplo, recomenda-se um peneiramento e até uma vermicompostagem após o final do processo, com o auxílio de minhocas, que melhoram muito a qualidade do composto.

Formas de aplicação:



Em covas



Entrelinhas de plantio



Glossário

Percolado x Chorume

São sinônimos. Representam o líquido que é extraído dos resíduos causado pelo excesso de água ou pela má operação da compostagem

Período chuvoso

De outubro a março, quando ocorrem as maiores chuvas

Período seco

De abril a setembro, quando chove menos

Estufa de secagem

Equipamento que tem como objetivo secar uma amostra por completo em um ambiente controlado, com o objetivo de definir a umidade relativa de uma amostra em porcentagem, ou seja, a porção da massa de amostra que é composta por água

Decomposição microbiana

É a ação de micro-organismos presentes no solo capazes de processar substâncias complexas tornando-as fáceis de serem consumidas como nutrientes pelos vegetais.



Apêndice IV – Balanço Hídrico para um pátio de compostagem descoberto na região do Guarapiranga

Mês	Precipitação (mm)	Volume Precip. (m³)	Evaporação (m³)	Volume usado inicial (m³)	Volume excedente acumulado (m³)
Janeiro	227,6	317	95	0,45	221
Fevereiro	191,2	266	80	0,45	407
Março	160,3	223	67	0,45	563
Abril	75,6	105	32	0,45	636
Maio	61,5	86	26	0,45	696
Junho	52,9	74	22	0,45	747
Julho	42,1	59	18	0,45	788
Agosto	32,9	46	14	0,45	819
Setembro	76,5	106	32	0,45	893
Outubro	118,9	166	50	0,45	1009
Novembro	132,6	185	55	0,45	1137
Dezembro	169,4	236	71	0,45	1302

As precipitações apresentadas são médias baseadas na série histórica de 2005 a 2014.

Apêndice V – Modelo para o dimensionamento das leiras no pátio de compostagem

Dimensionamento do Pátio de Compostagem

Volume diário médio recebido	
Volume anual	290,2 m ³
Frequencia de excedencia	70%
Meses no ano	12
Dias no mês	30
Volume diário médio	9,67 m ³
Densidade do composto	
D	0,80 t/m ³
Área da seção	
Seção triangular	1,875 m ²
Tempo de maturação	
t*	60 dias
*desconsiderando a maturação	
Volume da leira	
V1	108,8 m ³
V2	108,8 m ³
V3	108,8 m ³
V4	108,8 m ³
V5	108,8 m ³
V6	0,0 m ³
V7	0,0 m ³
V8	0,0 m ³
Vtot	544 m ³
V*dias	725 m ³

Área da base da leira	
A1	145 m ²
A2	145 m ²
A3	145 m ²
A4	145 m ²
A5	145 m ²
A6	0 m ²
A7	0 m ²
A8	0 m ²
Atot	725 m²

Dimensionamento da leira 1		Dimensionamento da leira 2	
Comprimento	58 m	Comprimento	58 m
Largura	2,5 m	Largura	2,5 m
Altura	1,5 m	Altura	1,5 m
Dimensionamento da leira 3		Dimensionamento da leira 4	
Comprimento	58 m	Comprimento	58 m
Largura	2,5 m	Largura	2,5 m
Altura	1,5 m	Altura	1,5 m
Dimensionamento da leira 5			
Comprimento	58 m		
Largura	2,5 m		
Altura	1,5 m		

Condição de existencia	OK
Area disponível	2100 m ²

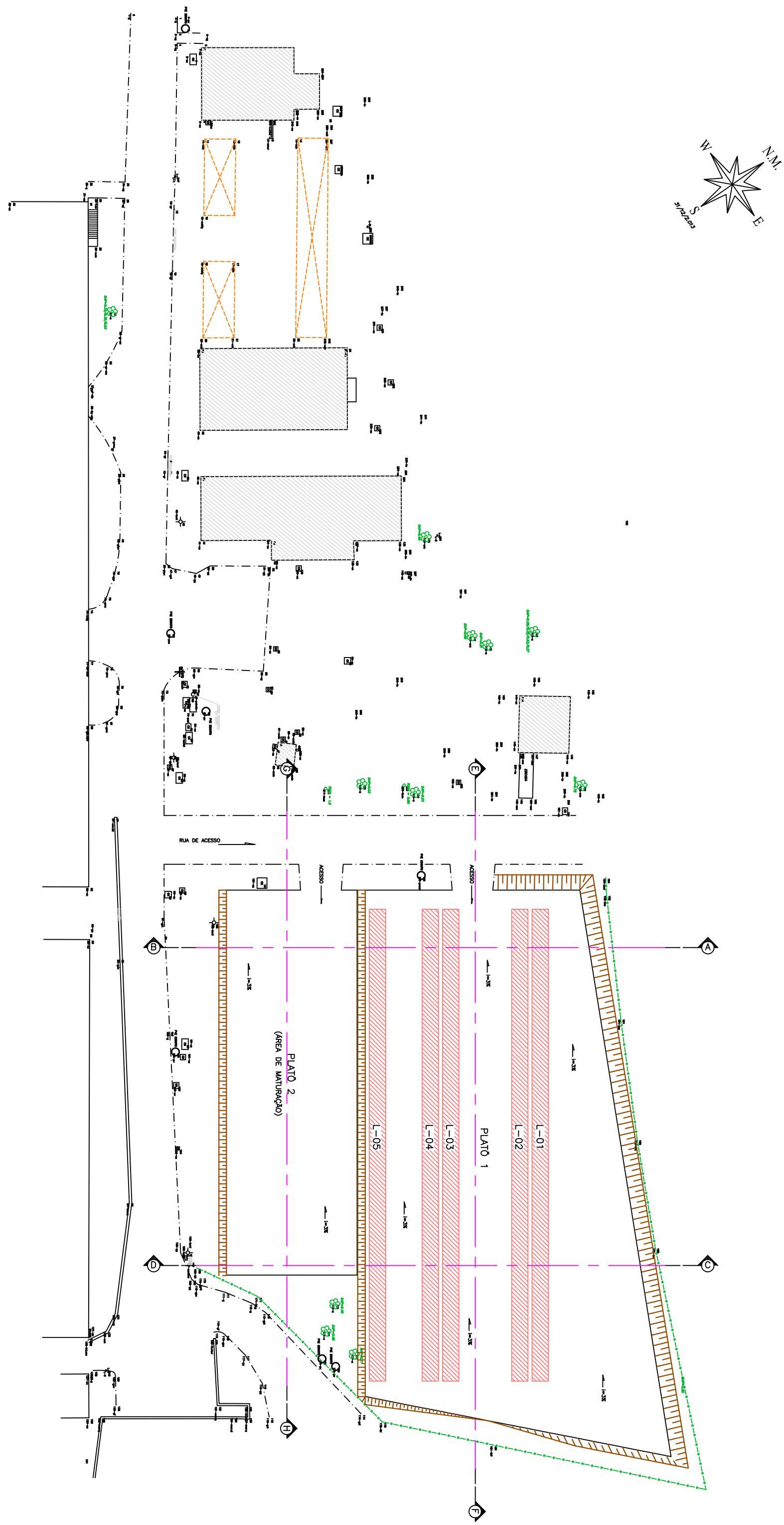
Area util do pátio	
Autil	870 m ²
Area de circulação	100%

Área total	1740 m²
-------------------	---------------------------



Defasagem	33%	ok até 40%
-----------	-----	------------

Apêndice VI – Planta do pátio de compostagem

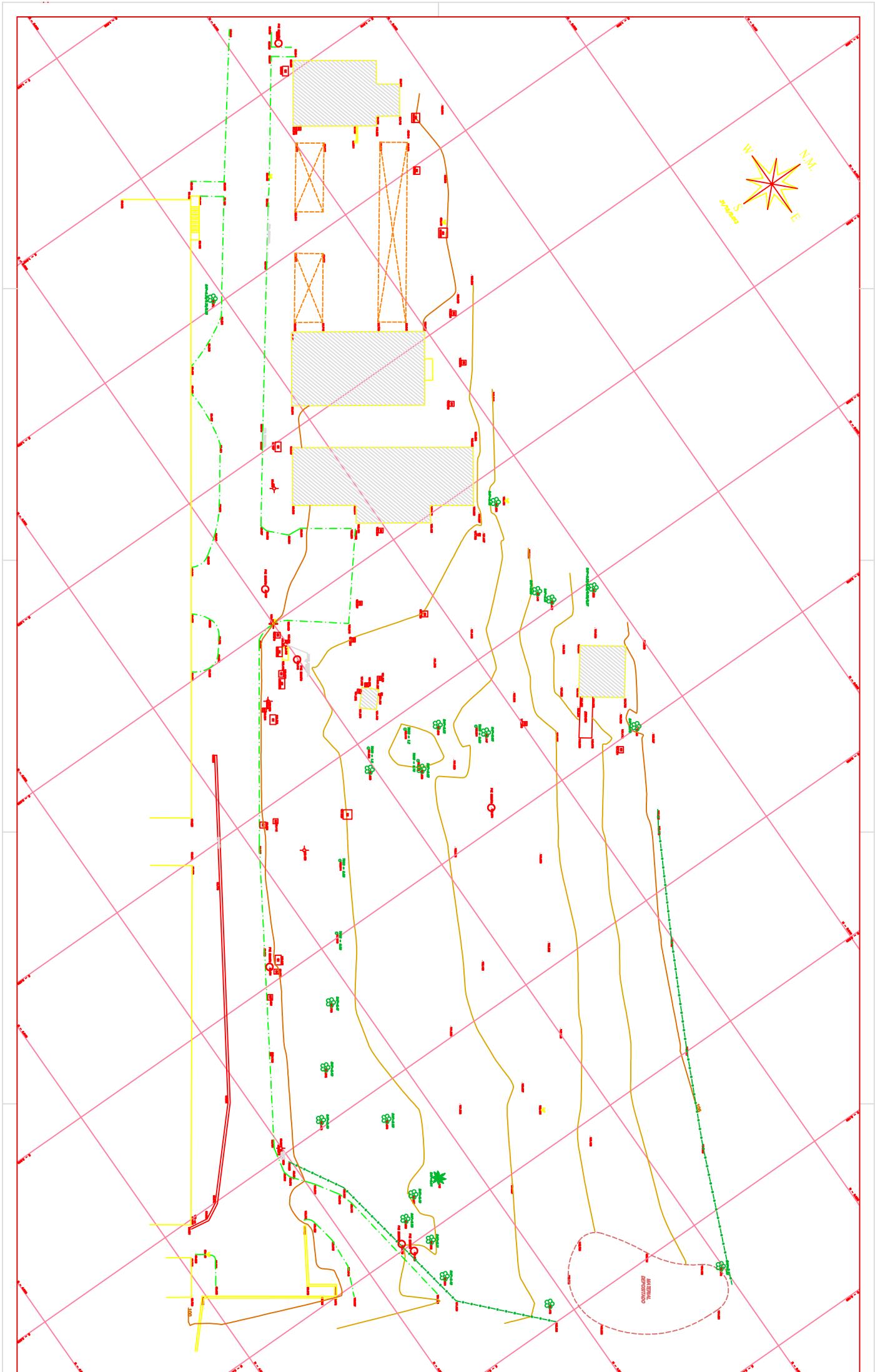


Apêndice VII – Projeção de custos

	Quantidade	Custo unitário	Custos mensais	Fonte
Operação				
Funcionários				
Montador/Revirador de leira	1	1.000,00	1.000,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Utilidades				
Energia	9,67	70,00	677,1	Cancado. Disponível em: http://www.blogdocancado.com/wp-content/uploads/2011/02/14.pdf . Acessado em 08/11/2015.
Máquinas				
Retroescavadeira MF86	1	1.791,59	1.791,6	Grupo Cultivar. Disponível em: http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=558 . Acessado em: 08/11/2015.
Manutenção dos equipamentos	1	300,00	300,0	Grupo Cultivar. Disponível em: http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=558 . Acessado em: 08/11/2015.
EPIs				
Bota	1	28,30	28,3	http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/como-orcar-epi-310905-1.aspx
Luva	2	3,64	7,3	http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/como-orcar-epi-310905-1.aspx
Capacete	1	25,39	25,4	http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/como-orcar-epi-310905-1.aspx
Óculos	1	2,50	2,5	http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/como-orcar-epi-310905-1.aspx
Máscara	1	0,50	0,5	http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/como-orcar-epi-310905-1.aspx
TOTAL			3.832,7	
Investimento Inicial	Quantidade	Custo unitário	Custos mensais	Fonte
Utensílios				
Termômetro (Haste 80 cm)	2	160,00	320,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Peneira manual	3	12,00	36,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Carro de mão (plástico)	3	78,62	235,9	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Garfo (10 dentes)	3	20,00	60,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Pá	3	30,00	90,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Enxada	3	20,00	60,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Vassoura	1	5,00	5,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Vassoura metálica	1	20,00	20,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Balde (20 L)	2	10,00	20,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
BALANÇA ID-200 UMID	1	4.986,50	4.986,5	Via Test. Disponível em: viatest.com.br . Acessado em 08/11/2015.
ESTUFA ELETTRICA DIM. 45X40X45CM	1	2.596,80	2.596,8	Via Test. Disponível em: viatest.com.br . Acessado em 08/11/2015.
COPÓ BECKER PLAST. 2000ML	1	19,85	19,9	Via Test. Disponível em: viatest.com.br . Acessado em 08/11/2015.
Caixa d'água	1	350,00	350,0	C&C. Disponível em www.cec.com.br . Acessado em 08/11/2015.
Caixa de concreto	1	1.000,00	1.000,0	Base de dados Sabesp
Tubulação de PVC	16	41,19	659,0	Base de dados Sabesp
Licenciamento				
Licenciamento	1	2.125,00	2.125,0	Cetesb (parecer técnico)
Cobertura				
Lona	1	3.000,00	3.000,0	CV Compost. Disponível em: http://www.cvcompost.com/quote.php . Acessado em: 08/11/2015
Lona	1	4.000,00	4.000,0	Ground Grocer. Disponível em: http://www.groundgrocer.com/products/TOPTEX-Windrow-Compost-Cover-5-x-50m.html . Acessado em: 08/11/2015.
Cobertura	1	450.000,00	450.000,0	Anexo III
Pogos de monitoramento				
Pogo de monitoramento	4	2.500,00	10.000,0	Arcadis
Outros custos				
Material de limpeza	1	50,00	50,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Sacos para composto	75	0,20	15,0	Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf . Acessado em 08/11/2015
Holofotes	2	500,00	1.000,0	Codeba. Disponível em: http://www.codeba.com.br/eficiente/repositorio/Licitacoes/Concorrencia/2011/005-2011/1937.pdf . Acessado em: 08/11/2015.
Impermeabilização				
Geomembrana (Compra + Instalação)	3932	25,65	100.855,8	Base de dados Sabesp
Terraplanagem				
Aterro	950	18,29	17.375,5	Base de dados Sabesp
Corte	1444,93	6,05	8.741,8	Base de dados Sabesp
TOTAL			607.622,18	

14 ANEXOS

Anexo I – Levantamento planialtimétrico



LEGENDA

	MASTRO		POLEGAIS
	ANTENA		VERTICE DIVISA
	PARAPÃO		MARCO CONCRETO
	CIMA DO CORREIO		MARCO FERRO
	ALTOPARLANTE		PROJETO MURO
	TOMADA FOTOGRAFICA		PLACA
	PONTO SONDAZEM		R.N.
	COTA DA VERTICE		CX. INSPEÇÃO
	HIDRANTE		PIEDRA ROCHA
	REDE DRENO		ÁGUADO
	REDE ESCOTO		EIXO
	CERCAS VIVA		LAGOA
	CERCAS ARAME		MURO
	LINHA TRANSMISSAO		CURSO D'ÁGUA
	GRINAL		GUIA
	CERCAS DE MADEIRA		TÚNEL
	REDE TELEFONE		ESTRIBO DE FERRO
	REDE OLÍMPICO		DIMISA
	DEFESA		BREJO
	LINHA VEGETAÇÃO		CORRÉO
	COTA DE NÍVEL		POÇO DE VESTA
	PAT. TELEF.		BOCA DE OURO
	BOCA DE LEÃO		BOCA DE LAJE
	CERCAS DE MADERA		LUMINARA
	ALVENARIA		POSTE
	POLIGONAL		MARK RUE

Anexo II - Exemplo de dimensionamento de leiras

A seguir, vamos expor o exemplo prático de dimensionamento de um pátio de compostagem:

Dimensionar um pátio de compostagem, considerando que são coletadas 10 toneladas de material orgânico e que sua densidade é de 0,8 t/m³.

- a) Cálculo das dimensões das leiras de compostagem:

Considerando leiras com seção transversal triangular, com 1,50 m de altura e 2,5 m de largura, obtém-se:

- Comprimento da leira:

$$S_{st} = \frac{2,5 * 1,5}{2} = 1,875 \text{ m}^2$$

- Densidade da massa a compostar:

$$\delta = 0,800 \text{ t/m}^3$$

- Volume da leira de compostagem:

$$V_L = \frac{10000 \text{ kg(MO)}}{800 \text{ kg/m}^3} = 12,5 \text{ m}^3$$

- Comprimento da Leira:

$$L = \frac{12,5}{1,875} = 6,67 \text{ m} \Rightarrow \text{Adotado } L = 7 \text{ m}$$

- b) Cálculo das dimensões do pátio de compostagem

- Área da base da leira:

$$S_{ba} = 2,5 * 7 = 17,5 \text{ m}^2$$

- Área de folga para o reviramento da leira:

$$S_{fo} = 17,5 \text{ m}^2$$

- Área total ocupada pela leira:

$$S_{fo} = 2 * 17,5 = 35m^2$$

- Área do pátio de compostagem:

Admitindo que o período de compostagem seja de 120 dias (fase ativa e fase de maturação), e que seja montada uma leira por dia, tem-se para área útil do pátio de compostagem:

$$S_{up} = 35 * 120 = 4200m^2 = 0,42ha$$

Assumindo que serão necessários mais 10% de área para circulação e estacionamento, resulta:

$$S_{up} = 4200 * 1,1 = 4620m^2 = 0,462ha$$

Anexo III – Orçamentos solicitados para estimativa de custo do empreendimento



PROPOSTA COMERCIAL

Ac.: Veronica Gonsalez

Ref.: ESTRUTURA METÁLICA PARA GALPÃO

Em atenção à vossa prezada consulta, é com satisfação que apresentamos, abaixo, nossas pré-condições para atender ao projeto.

Obra: São Paulo – SP.

1. Escopo dos Serviços

- 1.1 – Fornecimento de projeto de estrutura metálica, todos os materiais e mão de obra para cobertura de galpão com medidas aproximadas de 22,00 x 60,00 x 6,00m (LxCxA). Portanto para a cobertura serão estruturas de aço carbono estrutural com telhas galvanizadas trapézio 40, espessura de chapa #0,50 com pintura na face superior na cor branca, área de cobertura aproximada **1320m²**, incluso cumeeiras galvanizada. Excluso calhas, rufos e bocais de escoamento (falta informação).
- 1.2- Todas as estruturas acima citadas confeccionadas com perfis laminados de aço ASTM A-572 grau 50, aço dobrado e chaparia em aço estrutural ASTM A36, somando aproximadamente 30.360kg.
- 1.3- Emissão de ART em nome da nossa empresa referente aos serviços prestados. (Projeto, fabricação e montagem).
- 1.4- Proteção superficial: todas as peças receberão duas demões de pintura com tinta industrial dupla função (fundo) cor grafite.

2. Preços e Condições de Pagamento

- 2.1 – Preço global do escopo: **R\$400.000,00** (Quatrocentos mil reais).
- 2.2- Pagamento: a combinar.
- 2.3 – Preços válidos por 10 dias.

3. Prazo de fornecimento

- 3.1 – Prazo para fabricação: 40 dias úteis após aprovação do projeto (Prazo poderá ser alterado devido ao prazo de entrega de alguns materiais por parte de fornecedores específicos).
- 3.2 – Prazo aproximado para a montagem: 40 dias úteis.

4. Obrigações da contratante

- 4.1 – Liberação de PA (Permissão de Acesso) no máximo às 07h00 horas para máquinas e equipamentos em geral.
- 4.2- Acesso ao local da obra para carga e descarga de máquinas, equipamentos e materiais.
- 4.3- Liberação dos locais para a execução dos serviços em tempo integral de segunda a sexta feira sem interferências com outros serviços, no período diurno. Com eventuais serviços noturnos previamente agendados entre as partes.
- 4.4 – Ponto de energia elétrica de 220/380 v trifásico disponível dentro da obra, no máximo a 100m do local de montagem das estruturas.
- 4.5 – Realizar fundação (alvenaria) para receber a estrutura.

5. Obrigações da contratada (Gomez e Moraes)

- 5.1- Faturamento: 90% material (venda) e 10% mão de obra (serviços). Código NCN: 73269000. Simples Nacional.
- 5.2- Fornecimento de todos os equipamentos e ferramentas necessárias à execução dos serviços descritos inclusive guindastes, andaimes e painel elétrico onde serão ligadas nossas máquinas e ferramentas.
- 5.3- Acompanhamento técnico e de segurança do trabalho com engenheiro de segurança, engenheiro civil e engenheiro de produção inspetor de soldas ISN-1. Documentos como PPRA, PCMSO, treinamento para trabalho em altura, exames médicos, entre outros necessários e disponíveis para execução deste escopo.
- 5.4- Transporte, alimentação e estadias de equipes de montagem, bem como fornecimento de plataformas elevatórias para a realização dos serviços.

6. Itens não incluídos nos fornecimentos para este acordo

- 6.1- Diligenciamento e taxas de aprovação desta obra junto aos órgãos públicos.
- 6.2- Materiais e mãos de obra dos serviços de construção civil: fundações, concretagens, chumbamentos reformas na estrutura de concreto armado se necessário bem como fornecimento ou substituição de rufos ou outros elementos da cobertura.
- 6.3- Remoção e/ou demolição da construção existente.
- 6.4- Fechamento frontal ou lateral.

7. Termo de garantia

- 7.1- As estruturas fabricadas pela Gomez e Moraes que são objetos desta proposta, serão garantidas contra defeitos de fabricação dos serviços eventualmente contratados pelo prazo de 05 (cinco) anos, contados a partir da efetiva entrega, ou seja, do término dos nossos serviços para a contratante, sendo imprescindível a devida manutenção e cuidados contra elementos e condições não previstos em projeto. A manutenção e cuidados adequados ao aço é evitar que estejam em contato direto com água e cloro, para não ocorrer oxidação. Danos causados por negligência das informações anteriores não são de responsabilidade da Gomez e Moraes.

Sem mais para o momento, atenciosamente, aguardamos para quaisquer esclarecimentos que se façam necessários.

São Paulo, 23 de outubro de 2015.

Atenciosamente;

Estruturas Metálicas Gomez e Moraes