

## Avaliação operacional de processos e socioambiental de unidades de reciclagem e compostagem de resíduo sólido domiciliar no estado de São Paulo



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Informática Agropecuária  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Documentos 150**

## **Avaliação operacional de processos e socioambiental de unidades de reciclagem e compostagem de resíduo sólido domiciliar no estado de São Paulo**

*Fábio Cesar da Silva  
Adriana Delfino dos Santos  
Ronaldo Severiano Berton*

Embrapa Informática Agropecuária  
Campinas, SP  
2017

## **Embrapa Informática Agropecuária**

Av. Dr. André Tosello, 209 - Cidade Universitária, Campinas - SP

Fone: (19) 3211-5700

<https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria>

### **Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Giampaolo Queiroz Pellegrino

Secretário-Executivo: Carla Cristiane Osawa

Membros: Adriana Farah Gonzales, Carla Geovana do Nascimento Macário, Flávia Bussaglia Fiorini, Ivo Pierozzi Júnior, Kleber X.

Sampaio de Souza, Luiz Antonio Falaguasta Barbosa, Maria Goretti

G. Praxedes, Paula Regina K. Falcão, Ricardo Augusto Dante,

Sônia Ternes

Supervisão editorial: Kleber X. Sampaio de Souza

Revisão de texto: Adriana Farah Gonzales

Normalização bibliográfica: Maria Goretti G. Praxedes

Editoração eletrônica: Tuíra Santana Favarin, sob supervisão de

Flávia Bussaglia Fiorini.

Imagem da capa: Tuíra Santana Favarin

### **1ª edição publicação digital - 2017**

#### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

#### **Embrapa Informática Agropecuária**

---

Silva, Fábio César da.

Avaliação operacional de processos e socioambiental de unidades de reciclagem e compostagem de resíduo sólido domiciliar no Estado de São Paulo / Fábio César Silva, Adriana Delfino dos Santos, Ronaldo Severiano Berton.- Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2017.

72 p. il.: color. ; 16 cm x 21 cm. - (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9274; 150).

1. Análise multicritérios. 2. Compostagem. 3. Resíduos sólidos. 4. Avaliação de unidades de compostagem. I. Santos, Adriana Delfino dos. II. Berton, Ronaldo Severiano. III. Embrapa Informática Agropecuária. IV. Título. V. Série.

CDD 363.728

# **Autores**

## **Fábio Cesar da Silva**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

## **Adriana Delfino dos Santos**

Analista de Sistemas, mestre em Engenharia Elétrica, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

## **Ronaldo Severiano Berton**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador do Instituto Agronômico de Campinas, SP.



# Apresentação

A sustentabilidade dos centros urbanos passa pela utilização racional dos seus recursos naturais e pela disposição adequada de seus resíduos sólidos na ordem de 210 mil toneladas de lixo doméstico gerado por dia, no Brasil, que tem potencial de impactar o ambiente, especialmente nas áreas localizadas na região periurbana e agrícola. Por isso, elaborou-se uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), na Lei Federal 12.305, de 02.08.2010, que traz consigo uma visão integrada de gerenciamento de resíduo sólido urbano domiciliar e à sua gestão ambiental adequada.

Para aproveitamento da fração orgânica que perfaz a metade desses resíduos sólidos domiciliares e de aparas de árvores (RSU), utiliza-se do processo de compostagem aeróbica que é uma alternativa de reciclagem da substância orgânica ao solo para ser destinado à agricultura, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e a melhoria da saúde pública.

Nessa publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em parceria com Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) apresenta-se uma avaliação operacional da autossuficiência técnica, econômica, social-ambiental e operacional relativa de processos de tratamento aeróbico em unidades de reciclagem/

triagem e compostagem (URC) em operação no estado de São Paulo, selecionando-se três estudos de casos, visando contribuir com a política pública.

O primeiro traz uma visão integrada de gestão de resíduo sólido urbano domiciliar e a agricultura periurbana, utilizando-se de modelagem e sistema especialista construído e validado na sua capacidade para analisar a qualidade do material e fazer sua recomendação de adubação. No segundo aborda-se uma proposta metodológica para avaliação de sistema de compostagem e reciclagem considerando-se a qualidade de composto orgânico tipo C para registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e a infraestrutura de saneamento local do tratamento do resíduo urbano domiciliar. Por último, trata-se da seleção de indicadores de sustentabilidade técnico-econômicos, sociais e ecológicos para avaliar unidade de compostagem usando a metodologia de análise multicritérios.

*Sílvia Maria Fonseca Silveira Massruhá*  
Chefe da Embrapa Informática Agropecuária

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	10
<b>Introdução</b> .....	11
<b>Estudos de Caso</b> .....	14
Primeiro Caso .....	14
Contexto do Sistema SIRCLUA: Sistema de Gestão Municipal de Resíduos Sólidos e interação com o Sistema Agrícola .....	15
Contexto do Sistema SIRCLUA: Pesquisa, Políticas Públicas e Produção de CLU .....	17
Sistema SIRCLUA: sistemas especialistas .....	19
Sistema SIRCLUA – processos .....	20
Sistema SIRCLUA – Funcionalidade e Validação .....	25
Sistema SIRCLUA: Aprimoramento .....	30
Segundo Caso .....	31
Qualidade dos compostos de lixo .....	34
Maturação do composto .....	37
Metais Pesados .....	41
Balanço da utilização dos compostos: pontos forte e debilidades das URCs Paulistas .....	44
Terceiro Caso .....	52
Interpretação dos agrupamentos proposto por Nakajima et al.(2007) ..	58
Integrando Indicadores e Alternativas .....	59
Definindo as Matrizes de Avaliação, de Prioridade e de Diagnóstico ....	59
<b>Considerações Finais</b> .....	62
<b>Agradecimentos</b> .....	64
<b>Referências</b> .....	65



# **Avaliação operacional de processos e socioambiental de unidades de reciclagem e compostagem de resíduo sólido domiciliar no estado de São Paulo**

---

*Fábio Cesar da Silva*

*Adriana Delfino dos Santos*

*Ronaldo Severiano Berton*

## **Resumo**

A compostagem do Resíduo Sólido Urbano (RSU) domiciliar e de aparas de árvores é uma alternativa de reciclagem da substância orgânica ao solo, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para a melhoria da saúde pública. O produto final após compostagem do resíduo sólido doméstico deve ter qualidade para ser destinado à agricultura, o que está relacionado com a eficiência e o controle desse processo biológico. Este trabalho apresenta uma avaliação operacional para avaliar a autossuficiência relativa de processos de compostagem em Unidades de Reciclagem e Compostagem (URC) em operação no estado de São Paulo. Visando contribuir para política pública - Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), do estado de São Paulo - realizaram-se três estudos de casos: o primeiro traz uma visão integrada de gestão de resíduo sólido urbano domiciliar e a agricultura de proximidade utilizando-se de modelagem e sistema especialista; no segundo, aborda-se uma avaliação de sistema de compostagem e reciclagem considerando-se a qualidade de composto e a infraestrutura local do tratamento do resíduo urbano domiciliar; e o terceiro caso, trata-se da seleção de indicadores técnico-econômicos (treze), sociais (dez) e ecológicos (doze) pela análise multicritérios. Destas três dimensões da autossuficiência, foi encontrado um valor final, indicando qual o processo “mais ajustado” entre as alternativas apresentadas.

## Introdução

A questão pública começa já na própria concepção do “lixo” no âmbito municipal, como um material inútil resultante das diversas atividades, mero subproduto do sistema produtivo e, geralmente, preocupa-se em livrar-se desse material e, em muitas vezes, ocorrendo o seu descarte de forma inadequada em locais desprovidos de mínimos cuidados ambientais. No conceito moderno, “lixo” passa a ser tratado como “resíduo sólido”, ou seja, um material que pode ser potencialmente responsável por graves problemas de degradação ambiental, mas também possui valor econômico agregado, podendo ser aproveitado no próprio processo produtivo e permite agregar mão de obra excluída nessa reciclagem (ALMEIDA et al., 2010).

No Brasil, a geração de resíduo sólido urbano (RSU), cresceu 4,1% de 2012 para 2013, especialmente o resíduo de origem domiciliar. Por outro lado, a taxa de crescimento populacional urbano foi de 3,7% para o mesmo período, de acordo com Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) (PANORAMA..., 2014), o que implica na produção diária de 209 mil toneladas de Resíduo Sólido Domiciliar (RSD). Tal valor é diferente dos dados do total apresentado no Panorama dos Resíduos Sólidos de 2013 (PANORAMA..., 2014), que aponta 59,3 mil t de RSU por dia e não apenas do lixo coletado nos domicílios, sendo que cerca de 51,4% dos resíduos gerados nas cidades são orgânicos, o qual é reativo no meio e pode ser contaminado, podendo provocar sérios impactos ambientais e à saúde pública (IBGE, 2010).

Há uma legislação normativa para o tratamento e descarte dos resíduos sólidos, no que se destacam as políticas dos governos federal (Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010a) e estadual (Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) do estado de São Paulo (PERS, Lei 12.300/2006) (SÃO PAULO, 2006). Embora tais legislações busquem incentivar a regionalização da gestão de resíduos urbanos, retomando a ideia das grandes usinas de compostagem e agregando o conceito de formação de consórcio de municípios, as

quais possuem histórico de insucesso e problemas de continuidade em todo território nacional (ALMEIDA et al., 2010) e também em outros países de baixa renda. Apesar desta diversidade de possibilidades, a PERS, (PERS, Lei 12.300/2006) (SÃO PAULO, 2006; SILVA et al., 2009), pouco discorre ou incentiva a prática de compostagem.

O gerenciamento sustentável do RSU é uma questão crítica que preocupa as administrações públicas municipais, preconiza a adoção de sistemas descentralizados, dentro de um planejamento integrado, e dá ênfase às ações de minimização para solucionar o problema (ALMEIDA et al., 2010; FEHR, 2006; SILVA et al., 2009). Uma das principais ações diz respeito à maximização da reciclagem e ao reaproveitamento desses resíduos, que se inclui o retorno da fração orgânica do “lixo” domiciliar pelo processo de compostagem e aproveitá-lo na agricultura urbana e rural, como melhorador das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo (ABREU JUNIOR et al., 2009; SILVA et al., 2002b). O evidente fracasso é marcado pela redução das unidades de reciclagem/triagem e compostagem (URCs) em funcionamento, e foi estimado que apenas 1,6% desses resíduos sejam aproveitados desta maneira no País (IPEA, 2012).

Além disso, reflexos sociais e econômicos como a falta de espaço e de investimento para a construção de novos aterros sanitários têm contribuído para despertar o interesse do setor público em busca de alternativas economicamente sustentáveis (SILVA et al., 2009). Retomando-se os aspectos estatísticos do gerenciamento público de resíduos municipais, em 2013, a porcentagem de resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários no estado de São Paulo foi de 97,9% (CETESB, 2014) e, se por um lado, há melhora nos índices e na própria tecnologia de saneamento ambiental no âmbito estadual de disposição final, por outro há aterros das grandes cidades que caminham rapidamente para a plena saturação (IBGE, 2010) e necessidade de redução de custos desta destinação (ABREU JUNIOR et al., 2009). Estima-se que a vida útil é menor que cinco anos, a exemplo da capital paulistana e de Campinas.

A compostagem é o processo de decomposição biológica da matéria orgânica em condições controladas de aerobiose, temperatura e umidade da leira (ALMEIDA et al., 2010; FEHR, 2006; SILVA et al., 2009), gerando um produto estável denominado composto ou adubo orgânico. Em função da origem, os RSU são diferenciados em resíduos domiciliares, resíduos comerciais e de serviços (grandes geradores) e resíduos de poda e varrição provenientes de limpeza pública (BRASIL, 2010b; DEMAJOROVIC, 1995). Considera-se resíduo orgânico a fração orgânica compostável presente nestas frações, ressaltando-se que, em um mesmo período de tempo, nem todos os resíduos orgânicos são passíveis de compostagem, como madeira tratada, borracha e couro, por exemplo. Por outro lado, no trabalho (ANÁLISE..., 2014) foi apresentado um estudo interessante conduzido pela instituição com aporte financeiro do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Esse estudo propõe o estabelecimento de rotas tecnológicas diferenciadas para municípios em decorrência da faixa de população e considerando a implantação de uma rota objetiva de coleta seletiva de materiais recicláveis e outra específica para demais.

No presente artigo aborda-se a contribuição de três estudos de casos para a gestão pública de resíduo sólido urbano domiciliar. O primeiro traz uma visão integrada de gestão de RSU e a agricultura de proximidade utilizando-se de modelagem e sistema especialista. O sistema especialista foca no aspecto técnico-operacional de uma unidade de compostagem para o produto composto de lixo urbano (CLU) sendo usado na agricultura como insumo agrícola. O segundo caso mostra a diferença entre registrar o CLU junto ao Mapa e usá-lo na agricultura e mostra também a unidade de compostagem vista como uma unidade de tratamento em Saneamento Ambiental. E, o último caso, avalia uma URC do ponto de vista do valor agregado para a sociedade da PNRS, não apenas o técnico-econômico, mas também o ambiental e o social. A avaliação trata da seleção de indicadores de compostagem e uso agrícola em URCs paulista pelos gestores (decisores) locais, por meio de análise multicritérios resultando na seleção de treze técnico-econômicos, dez sociais e doze ecológicos.

## Estudos de Caso

Interface agrícola – urbano de RSU: sistema especialista, análise de quadrantes e seleção de indicadores por multicritérios.

### Primeiro Caso

Visão integrada de gestão de RSU domiciliar e a agricultura de proximidade – modelagem e sistema especialista.

O gestor público moderno requer informações técnicas adequadas e condições estruturais compatíveis para manejo, tratamento e disposição agrícola dos resíduos orgânicos do município.

Segundo Santos et al. (2009, p.167).

[...] O tratamento gera o composto de RSU que pode ser usado como fertilizante pelo sistema agrícola. Para garantir o uso agrícola adequado desse composto, são necessárias informações que subsidiem a implantação de uma unidade de compostagem, a garantia de parâmetros de qualidade aceitáveis para comercialização do composto de lixo e o monitoramento dos impactos ambientais envolvidos nos processos tecnológicos e no uso desse composto. Neste contexto, as tecnologias de informação e de comunicação (TIC) podem ser usadas como instrumentos de apoio a essa gestão municipal de resíduo sólido, integrada ao sistema agrícola.

Deste modo, há diversos sistemas de informação disponíveis com metodologia baseada em sistemas de informação geográfica para agrupar as variáveis de solos que refletem a sua capacidade de suporte ambiental para escolha das melhores áreas de construção de aterros sanitários (ALMEIDA et al., 2010; SILVA et al., 2009), passando por softwares que procedem à análise da viabilidade econômica da implantação de uma usina de compostagem (Software Reciclón) (MASSUKADO, 2008) até sistemas de apoio à tomada de decisão

como, por exemplo, o sistema SIRCLUA para avaliação da qualidade do composto de lixo e a recomendação do seu uso na agricultura (DEUS et al., 2006; SILVA et al., 2004, 2009; SIRCLUA, 2003; VASCONCELOS, 2003).

No caso particular do sistema SIRCLUA, este trabalho apresenta o escopo em que ele foi desenvolvido, os processos apoiados por ele, a evolução recente nos processos de decisão sobre a aplicação do composto e os pontos de aprimoramento.

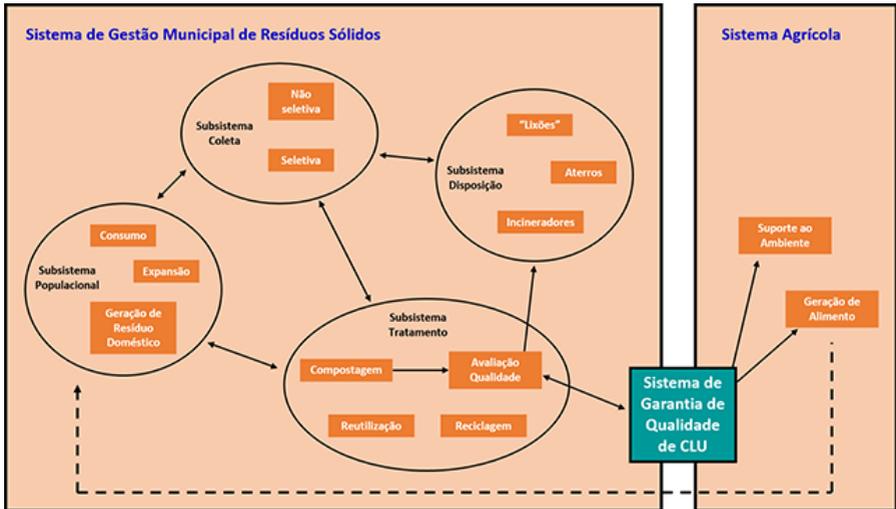
### **Contexto do Sistema SIRCLUA: Sistema de Gestão Municipal de Resíduos Sólidos e interação com o Sistema Agrícola**

A adoção de um sistema de gestão de resíduo sólido integrado ao sistema agrícola pela administração municipal viabiliza a implantação do tratamento de resíduo sólido orgânico.

Um sistema de Gestão Municipal de Resíduos Sólidos (Figura 1) é, de forma geral, composto de quatro subsistemas - Populacional, Coleta, Disposição e Tratamento - e o mesmo interage com o sistema Agrícola por meio do subsistema Tratamento (processo Compostagem). Conforme esquema apresentado na Figura 1, os retângulos de borda arredondada representam os subsistemas, os retângulos de bordas retas representam os processos (de subsistema ou sistema), as setas representam os fluxos entre os elementos dos sistemas e a seta pontilhada representa o retorno da produção agrícola em forma de alimento para o município. Esses subsistemas são representativos de município típico do interior do estado de São Paulo e, além disso, todos estão inseridos dentro de um escopo socioeconômico, respeitando-se a capacidade de suporte ambiental do local (SANTOS et al., 2009).

Neste contexto, o sistema SIRCLUA (DEUS et al., 2006) apoia o subsistema Tratamento, por meio do suporte ao processo de avaliação de qualidade do CLU e da interação com o sistema Agrícola para elaboração da recomendação de uso agrícola do CLU em uma determinada propriedade rural usuária desse composto. CLU com

qualidade imprópria para uso agrícola é descartado e enviado para o subsistema Disposição.



**Figura 1.** Relações interativas acerca dos diferentes subsistemas na gestão pública municipal do lixo.

Fonte: adaptado de Deus et al. (2006) e Santos et al. (2009).

Dada a integração dos sistemas, qualquer mudança em um dos seus componentes levará a uma série de consequências e respostas aos demais. Por isso, a qualidade do composto de lixo é reflexo de diversos fatores, como a coleta seletiva, hábito alimentar da população e o tipo de processo de compostagem e reciclagem.

## **Contexto do Sistema SIRCLUA: Pesquisa, Políticas Públicas e Produção de CLU**

Segundo Vasconcelos (2003), pesquisas vêm sendo realizadas para suprir lacunas na legislação para recomendação do uso do composto de lixo urbano na agricultura no estado de São Paulo considerando o tipo de cultura, as características do solo, da propriedade rural e da composição do próprio CLU (NAKAJIMA et al., 2007; SILVA et al., 2002b, 2003, 2006a, 2006b, 2007a, 2007b, 2010a, 2010b). Os resultados dessas pesquisas têm subsidiado a atualização de políticas públicas, principalmente do Mapa, como a IN 27/2006 (Brasil, 2006), usada como fonte de conhecimento para o sistema SIRCLUA.

Para analisar os fertilizantes orgânicos, devem ser seguidos protocolos análogos aos descritos pelo Mapa em: Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos (BRASIL, 2007a, 2007b) e Manual de Análises Químicas em Solos, Plantas e Fertilizantes (SILVA, 2009).

Uma visão geral do uso agrícola do CLU é dada pelo modelo do macroprocesso apresentado na Figura 2. Utilizou-se a ferramenta Bizagi (BIZAGI, 2017) para modelagem e a notação conhecida como BPMN – Business Process Model and Notation, desenvolvido pela SDPS - Society for Design and Science Process, nos elementos do diagrama. Foram identificados quatro atores: Instituições de Pesquisa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Instituição Produtora de CLU e Produtor Rural (usuário do CLU).

As Instituições de Pesquisa atuam na elaboração/atualização das metodologias de Avaliação da Qualidade do CLU e de Recomendação do Uso Agrícola do CLU. A primeira metodologia subsidia a atualização de políticas públicas pelo Mapa; já a segunda, pode subsidiar esta atualização (seta pontilhada) além de subsidiar diretamente a definição/ajuste de processo de rotina na Instituição Produtora de CLU.

A Instituição Produtora de CLU define/ajusta seus processos produtivos para atender aos padrões de qualidade definidos pelo Mapa e para implantar a metodologia de recomendação do uso agrícola do CLU.

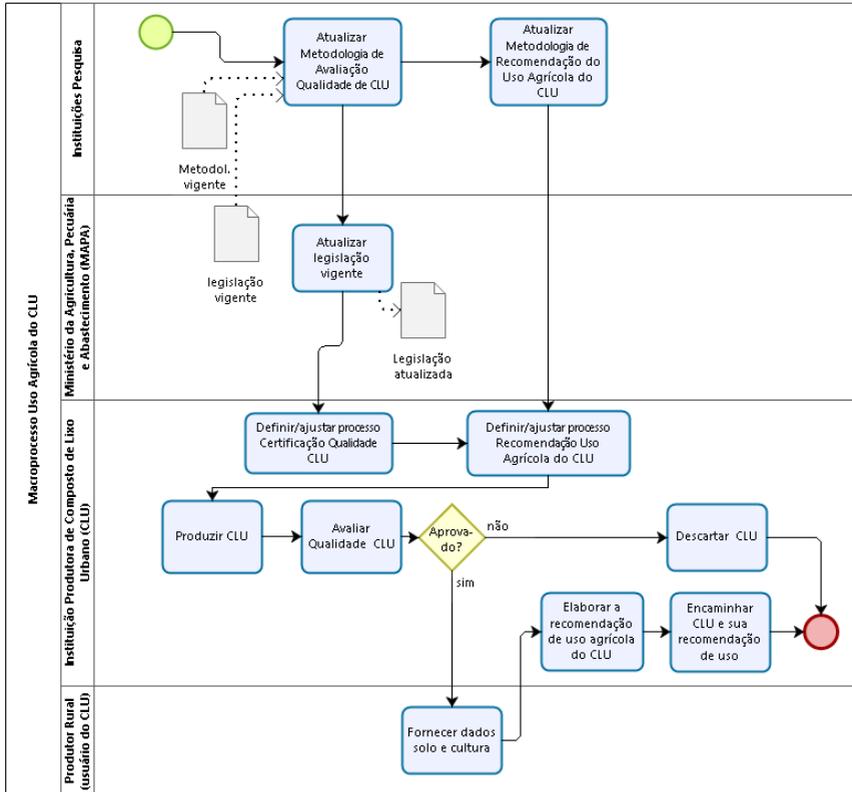


Figura 2. Macroprocesso de uso agrícola do CLU.

O lixo orgânico é reduzido e tratado pelo processo de compostagem “Produzir CLU”, onde passa por diversas fases até atingir a estabilidade da fração orgânica (maturação) estando pronto para o uso agrícola como fertilizante orgânico. A produção do composto é organizada por lotes e, durante o período de maturação, são coletadas várias amostras

para análises físico-químico-biológicas e os dados resultantes destas análises são mantidos em registros estruturados.

Esse composto em produção precisa estar em condições físico-químicas adequadas para não contaminar o solo e não levar a contaminação até o ser humano e prejudicar o meio ambiente (BALLESTERO et al., 2000; SILVA et al., 2005). Para atender esse requisito, o processo “Avaliar a Qualidade do CLU”, a partir de dados de análise físico-químico-biológica de amostras coletadas do composto maturado, realiza procedimentos de avaliação da qualidade e identifica os lotes aptos (com padrão de qualidade aprovado) a serem empregados como fertilizante orgânico. Caso, na avaliação da qualidade do lote, o resultado seja “não aprovado”, o lote deve ser descartado. Lotes de CLU aptos a serem usados na agricultura ficam à disposição para atender à solicitação de uso de um Produtor Rural (usuário do composto) por meio da execução do processo “Fornecer dados do solo e da cultura” em que se pretende aplicar o composto.

O processo “Elaborar a recomendação de uso agrícola do CLU” requer a seleção de um lote apto para uso agrícola, e, juntamente com as características físico-químico-biológicas deste lote, os dados sobre o solo da propriedade rural e a cultura na qual o composto será utilizado. Estes dados e informações são as entradas para processamento e geração da recomendação de uso do composto. Esta recomendação é encaminhada junto com o composto para o Produtor Rural (usuário do CLU).

### **Sistema SIRCLUA: sistemas especialistas**

A base do processo de tomada de decisão do gestor público é a disponibilidade da informação. De acordo com Santos et al. (2009) a geração da informação requer um conjunto de dados organizados e armazenados. A partir de um conjunto de informações é possível extrair conhecimentos que subsidiem a tomada de decisão.

Um Sistema de Informação computacional, segundo Protil e Zambalde (2003) pode ser definido como “um sistema, cujo objetivo é estruturar,

tratar e disseminar informação”.

A implementação de sistemas de informação de apoio à decisão (SAD), em geral, adota sistemas especialistas. Os sistemas especialistas (SE) são uma subclasse de sistemas baseados em conhecimento (SBC) que usam o conhecimento explicitamente para resolver problemas e, geralmente, são usados quando existem um especialista humano capaz de solucioná-los (REZENDE, 2003).

A estrutura geral de um SBC constitui-se de: a) base do conhecimento – onde está representado todo o conhecimento de um determinado domínio por meio de regras; b) base de dados – para obtenção ou armazenamento de dados e/ou informações; c) núcleo do SBC – conjunto de algoritmos para manipular o conhecimento representado na Base do Conhecimento e processá-lo de acordo com o conteúdo da Base de Dados; d) interface com o usuário – responsável pela obtenção de informação junto ao usuário, além de apresentação de resultados e explicações (SANTOS et al., 2009).

Durante a construção de um SBC, o conhecimento é capturado, organizado e disponibilizado na Base do Conhecimento. Uma vez construída esta base, esse conhecimento torna-se permanentemente acessível, facilmente recuperável e pode ser amplamente utilizado por todos, independentemente de sua capacitação.

No setor agropecuário, segundo Tedesco et al. (2009), faltam especialistas para interpretar resultados de análise de solo e plantas e recomendar a adubação adequada e essa deficiência pode ser compensada com o treinamento do pessoal não especializado utilizando-se sistemas especialistas.

### **Sistema SIRCLUA – processos**

O esforço de agregar o conhecimento de especialistas para facilitar a difusão desses por meio de sistemas especialista não é novidade na agricultura (SILVA, 2009). No sistema SIRCLUA, a novidade é a difusão do conhecimento sobre o uso agrícola de CLU. Além disso,

a inserção de novos conhecimentos na Base de Conhecimentos é facilitada.

Considerando-se o contexto exposto acima, o sistema SIRCLUA<sup>1</sup> - Sistema Inteligente para Recomendação do Composto de Lixo Urbano na Agricultura, descritos em Deus et al. (2006), Silva et al. (2002a) e Santos et al. (2009) - foi projetado com uma arquitetura baseada em sistema especialista e o sistema foca no aspecto técnico operacional de uma unidade de compostagem cujo produto será usado na agricultura. Segundo Santos et al. (2009) e Deus et al. (2006), no desenvolvimento do SIRCLUA foram modelados os seguintes processos para o SE (Figura 3): “Aquisição de Conhecimento”, “Engenharia do Conhecimento”, “Diagnóstico da Qualidade de CLU” e “Geração da Recomendação de uso do CLU”.

O processo “Aquisição de Conhecimento” consiste no planejamento e execução de atividades de aquisição de conhecimento por meio de a) pesquisas sobre metodologia para avaliação da qualidade do CLU para uso agrícola e sobre metodologia para recomendação do uso agrícola do CLU; b) levantamento da legislação vigente sobre o assunto. Além de atividades de validação desse conhecimento adquirido e registro dele em um documento normatizador, genericamente representado na Figura 3 por “Referência Técnica”.

---

<sup>1</sup> Protótipo funcional, em teste em Unidade de Reciclagem e Compostagem de resíduo sólido domiciliar (URC). Disponível em: <[https://www.e-science.unicamp.br/sisda/projetos/projetos\\_projcompleto.php?id\\_projeto=218](https://www.e-science.unicamp.br/sisda/projetos/projetos_projcompleto.php?id_projeto=218)>.

### Contexto do protótipo do SE

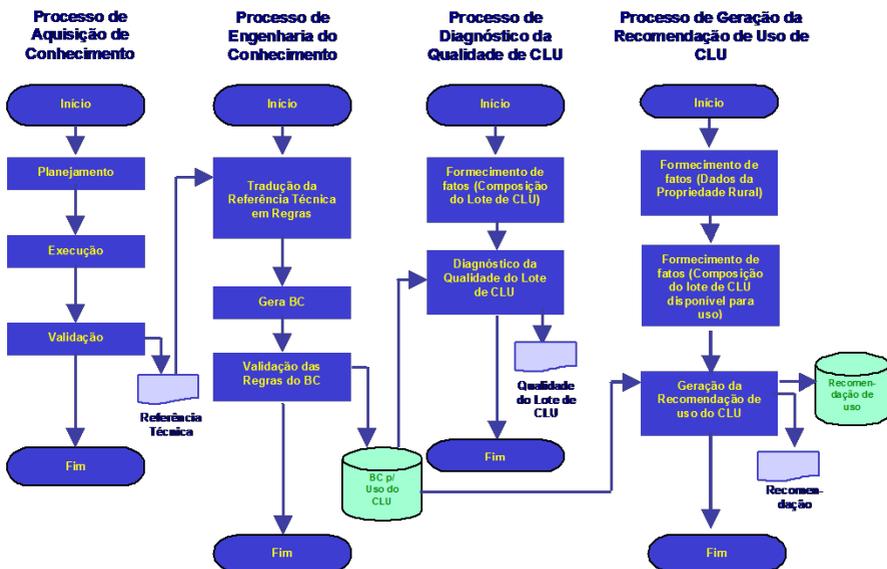


Figura 3. Processos envolvidos no SIRCLUA.

Fonte: adaptado de Santos et al. (2009).

O processo “Engenharia do Conhecimento” é responsável pela tradução do conhecimento registrado no documento “Referência Técnica” para um conjunto de regras as quais são armazenadas na Base de Conhecimento (BC). Essa tradução é feita por uma equipe multidisciplinar composta por especialistas das áreas de CLU e de desenvolvimento de sistemas especialistas. A fonte desse conhecimento pode ser consultada em Silva et al. (2002a, 2002b). O conjunto de regras deve ser validado confrontando-o com o conhecimento da referência técnica. Nesta atividade, várias iterações ocorrem até que a BC esteja em conformidade com a referência técnica. Ao término desta atividade, a BC está liberada para uso nos demais processos.

O processo “Diagnóstico da Qualidade de CLU” requer o cadastramento das características físico-químico-biológicas de lotes de CLU produzidos e/ou em processo de maturação. Várias análises podem ser cadastradas até que o CLU esteja maturado. O diagnóstico da qualidade é feito por meio do confronto das características do lote de CLU com as regras armazenadas na BC e um laudo é emitido com a justificativa de sua classificação. Lote de composto com qualidade “não aprovado” é encaminhado para descarte.

O processo “Geração da Recomendação de uso do CLU” requer o cadastramento das propriedades rurais que são clientes da unidade de compostagem. Neste cadastramento, informações de identificação da propriedade, de análise química do solo e quais as culturas serão manejadas são fornecidas. Um lote apto para uso agrícola é selecionado e procede-se a geração da recomendação de uso do CLU confrontado as características do CLU, as características do solo da propriedade onde será aplicado e quais as culturas serão manejadas. A recomendação gerada contém: dosagem de adubação com CLU, baseada no teor de nitrogênio; dosagem de adubação com CLU, baseada no teor de fósforo; dosagem de adubação com CLU, baseada no teor de potássio; dosagem de adubação em plantio com CLU, considerando a maior das anteriores; recomendação de adubação suplementar, caso seja necessário; recomendação de adubação em cobertura, caso seja necessário. Ela será entregue para o cliente junto com o produto.

Com base na definição destes processos do SIRCLUA, a partir do modelo do macroprocesso “Uso agrícola do CLU” apresentado na Figura 2, fez-se o mapeamento sobre quais processos seriam apoiados pelo SE. Este mapeamento é apresentado na Figura 4 e representado pelos retângulos tracejados. O modelo do sistema SE define a construção da Base do Conhecimento em dois processos “Aquisição do Conhecimento” realizado pelas Instituições de Pesquisa e “Engenharia do Conhecimento” realizado pela Instituição Produtora do CLU. O apoio à tomada de decisão promovido pelo SE, ocorre nos processos:

a) “avaliar qualidade do composto orgânico”, indicando se ele atende aos padrões mínimos desejáveis para uso na agricultura; b) elaboração da recomendação de uso agrícola do composto, de acordo com as características do composto, do solo da propriedade e da cultura a ser aplicado o composto.

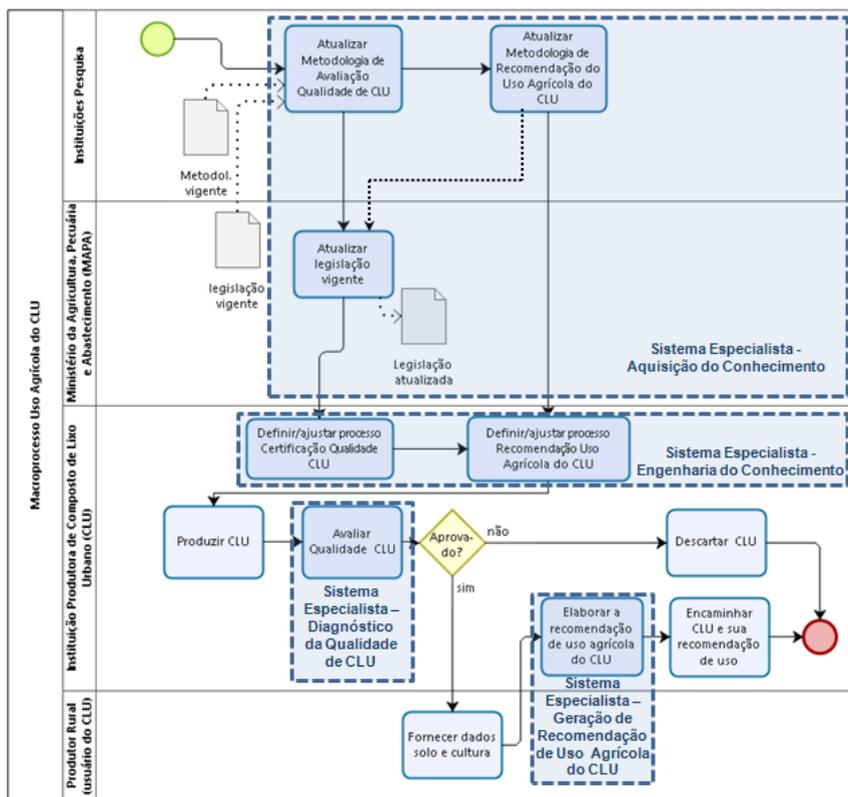


Figura 4. Mapeamento dos processos do Macroprocesso Uso Agrícola do CLU apoiados pelo Sistema SIRCLUA.

## **Sistema SIRCLUA – Funcionalidade e Validação**

O protótipo do SIRCLUA foi desenvolvido usando o MS Visual Basic e usando o banco de dados MS Access, um protótipo do Sistema de Recomendação de uso do CLU em solo Agrícola, com o intuito de elucidar a interface do usuário do sistema de uma maneira amigável e validar suas funcionalidades junto aos especialistas de CLU (SANTOS et al., 2009).

As principais funcionalidades são: cadastro das características físico-químico-biológicas base/fatos para diagnóstico da qualidade do CLU; cadastro da propriedade rural; diagnóstico da qualidade de lote de CLU; e geração da recomendação de uso agrícola do CLU.

A funcionalidade “Cadastro do CLU” (Figura 5) requer que sejam preenchidas com dados sobre a identificação do composto, as características físico-químico-biológicas, indica se a coleta foi seletiva ou não, informa a data de início da compostagem, a data de amostragem, o responsável técnico pelo cadastro do CLU e o nome do laboratório que fez a análise. Os dados das características físico-químico-biológicas são agrupados por características físico-químicas, nutrientes, metais pesados e presença de patógenos (SILVA et al., 2002a).

Figura 5. Visualização da tela de cadastro do composto de lixo urbano – CLU.

Fonte: Santos et al. (2009).

A funcionalidade “Qualidade do CLU” requer indicação do lote de CLU a ser avaliado e retorna o laudo resultante da avaliação.

A funcionalidade “Cadastro da Propriedade Rural” requer o preenchimento dos dados da propriedade que está adquirindo o composto; os dados de fertilidade do solo e informações sobre a(s) cultura(s) realizadas na propriedade, o que possibilita gerar uma recomendação personalizada.

A funcionalidade “Recomendação” requer a seleção do lote de composto apto para uso agrícola e da propriedade rural (DEUS et al., 2006; SILVA et al., 2009; VASCONCELOS, 2003). A partir daí a recomendação é gerada e apresentada por cultura, conforme tela da Figura 6.

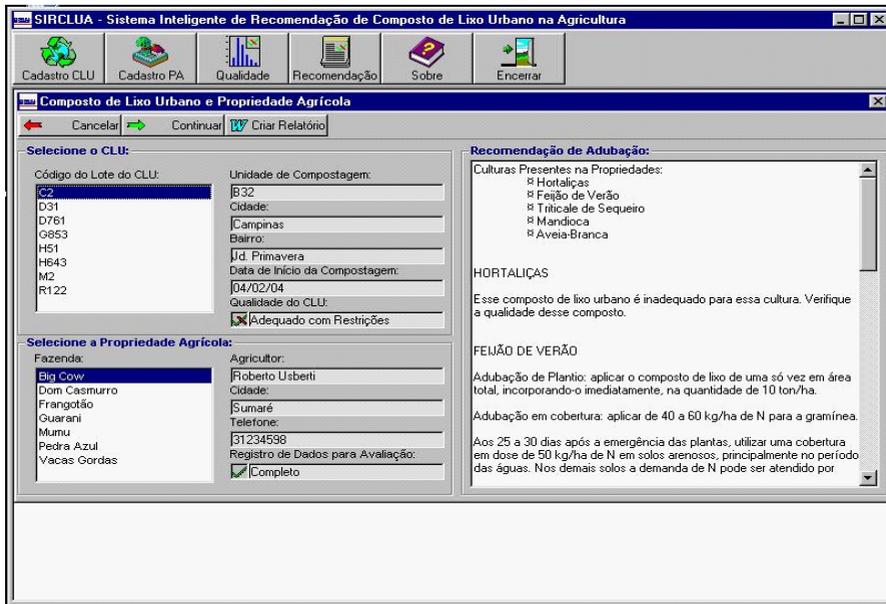


Figura 6. Resultado de recomendação de uso agrícola do composto de lixo urbano pelo software SIRCLUA.

Fonte: Santos et al. (2009).

Uma validação do sistema foi feita a quatro usuários, utilizando-se um questionário acompanhado com o teste de uso do SIRCLUA, sendo dois técnicos de pesquisa especialistas e dois gerentes de usinas de compostagem, como da URC de São José dos Campos administrada pela Urbanizadora Municipal São José dos Campo (Urbam). Na Tabela 1, verificam-se os resultados do processo de validação do Sistema SIRCLUA.

Nota-se que teve um desempenho satisfatório para compatibilidade de usuário, facilidade de execução, impacto positivo nas tarefas da usina, usabilidade e acesso à informação adequada.

Os representantes das usinas de compostagem levantaram os prováveis impactos que seriam os seguintes:

- O agricultor nem sempre possui uma análise de solo, que deveria propor na implantação do SIRCLUA uma série de alternativas de parcerias com laboratórios e universidades para fazer análises de rotina de terras para o agricultor, ou trabalhar com valor médio de fertilidade do solo dele.
- É possível rastrear a origem do CLU, desde que sejam feitas mudanças no processo de recebimento dos resíduos sólidos para organizar o conhecimento dos caminhões que trazem os resíduos sólidos domiciliares por setor da cidade. Desta forma, permitiria organizar as leiras também por setor, porque há uma relação direta entre o índice de desenvolvimento humano (IDH) do local com a composição do resíduo coletado, especialmente a fração orgânica e se teve coleta seletiva.
- Há necessidade de a usina verificar que seria necessário alterar os procedimentos de atendimento de solicitação de compra, pois o CLU disponível para carregamento no pátio pode não ser adequado para as culturas em uso na propriedade solicitante.

Outro aspecto levantado foi que a funcionalidade e a eficiência de uma unidade de compostagem dependem da adequação da escolha do processo e dos equipamentos apropriados para serem operados pela equipe técnica local, com custos de manutenção compatíveis e tecnologia dominada ou conhecida; a integração dessas compostagens com o gerenciamento de resíduo sólido domiciliar do município depende do estabelecimento de uma rede organizada de consumidores no ano todo.

**Tabela 1.** Resultados da validação do sistema SIRCLUA junto aos usuários de gerência de usinas de compostagem e de pesquisadores especialistas.

<b>1. Impacto em contexto-de-uso</b>	
<b>1.1 Características do usuário</b>	
- Compatibilidade: 100% (4)	"compatível": os quatro usuários
<b>1.2 Trabalhos, Tarefas e Atividades.</b>	
- Método de trabalho: o sistema muda o método de trabalho com respeito a quê? (horas do trabalho, objetivo da tarefa, duração da tarefa).	"diminuiu": três usuários (75%) não respondeu: um usuário (25%)
- Complexidade da tarefa	"diminuiu": quatro usuários (100%)
<b>1.3 Ambientes Organizacionais</b>	
- Formalização	"aumentou": quatro usuários (100%)
<b>2. Impacto na interação da tarefa</b>	
<b>2.1 Desempenhos da tarefa</b>	
- Desempenho da tarefa	"aumentou": quatro usuários (100%)
<b>2.2 Usabilidade</b>	
- Esforço mental	"diminuiu": quatro usuários (100%)
- Dificuldade de aprendizado	"nenhum esforço requerido": quatro usuários (100%)
- Satisfação do usuário	"satisfeito": três usuários (75%) Não respondeu: um usuário (25%)
- Controle do sistema	"completamente": quatro usuários (100%)
- Compreensão do sistema	"muito fácil": dois usuários (50%) "em algum grau": dois usuários (50%)
- Atração	"muito atrativo": dois usuários (50%) "suficiente": dois usuários (50%)
<b>2.3 Acessos à informação</b>	
- Acesso à informação	"mais fácil": quatro usuários (100%)
- Disponibilidade da informação	"muito satisfeito": 2 usuários (50%) "satisfeito": dois usuários (50%)
- Qualidade da informação	"satisfeito": quatro usuários (100%)

## **Sistema SIRCLUA: Aprimoramento**

Importante ressaltar que, após o desenvolvimento da versão do protótipo SIRCLUA, houve uma continuidade de pesquisas sobre aspectos da dinâmica, transformações e modelagem (SILVA et al., 2007a) de metais pesados no decorrer dos processos de compostagem (ABREU JUNIOR et al., 2012; CHITOLINA et al., 2012; FORTES NETO et al., 2013; SILVA, 2009; SILVA et al., 2013) e após sua aplicação ao solo (SILVA et al., 2002b, 2002c, 2003; ABREU JUNIOR et al., 2009) em ambiente agrícola.

As pesquisas também avaliaram a questão da gestão do saneamento público de lixo. Verificou-se que o método atual de avaliação Índice de Qualidade de Compostagem (IQC) da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), focado em infraestrutura, não é suficiente para avaliar sistematicamente o desempenho das unidades de compostagem, pois não considera os parâmetros de qualidade essenciais para segurança ambiental da área do produtor agrícola, no caso do composto de resíduos sólidos urbanos, o que pode causar impactos ambientais negativos nos recursos solo e água (SILVA et al., 2006a, 2010b), principalmente em cinturões verdes próximos aos grandes centros urbanos, como é o caso da Grande São Paulo.

O ponto crucial é que o resíduo sólido urbano é considerado um problema de competência de saneamento ambiental, de responsabilidade do governo municipal, mas, na medida em que sofre compostagem, o composto de resíduo sólido urbano orgânico tornar-se passível de ser produto registrado como fertilizante orgânico classe C, conforme estabelecido pela Instrução Normativa (IN) nº 25 de 2009, do Mapa (BRASIL, 2009). Desta forma, parte do problema torna-se produto com valor agregado (ABREU JUNIOR et al., 2012).

Hoje existe a possibilidade do conceito de garantia mínima de nutrientes do composto quando o seu produtor informa ao Mapa.

Além disso, no sistema de Gestão Municipal de Resíduos Sólidos, existe a oportunidade de acrescentar o subsistema “Serviços de

Parques e Jardins”, pois muitas cidades no estado de São Paulo estão fazendo a coleta seletiva dos resíduos de podas de árvores e aparas de grama e o tratamento por meio de trituração desses resíduos. A Base do Conhecimento do SIRCLUA poderia ser ampliada para este tema.

Outra oportunidade de aprimoramento é a evolução tecnológica do SIRCLUA – Base de Conhecimento, Base de Dados, Interface com usuário, para utilizar plataforma web, mecanismos de dispositivos móveis, ambientes interativos, etc.

## Segundo Caso

Avaliação atual das usinas de compostagem do estado de São Paulo pelos critérios do SIRCLUA

Na análise por grupos, têm-se as comparações (relação) entre a infraestrutura de cada usina de compostagem de lixo e a qualidade do composto por eles gerada. O critério utilizado para agrupar as suas respectivas usinas foi o de quadrantes. Nesse tipo de classificação foi levado em consideração não somente as estruturas ou tipo de processo de cada usina sugerido por Barreira et al. (2006), como observado na Figura 7 ,mas também a qualidade do composto por meio dos parâmetros analisados nos compostos de lixo coletados e analisados das URC por Barreira (2005). Na Tabela 2, é apresentada a metodologia proposta de classificação dos grupos em termos de quadrantes.

**Tabela 2.** Classificação dos grupos das usinas de compostagem dispostas em quadrantes pela metodologia proposta pelos autores.

Grupo	Agrupamento em Quadrantes	Classificação
A	1	Infraestrutura e Composto Alto
B	2	Infraestrutura Alta e Composto Baixo
C	3	Infraestrutura Baixa e Composto Alto
D	4	Infraestrutura e Composto Baixo

Para obter-se comparações desejadas entre URCs conforme descritas no objetivo deste trabalho pela metodologia proposta, as usinas foram agrupadas conforme a infraestrutura, ou seja, de acordo com o IQC e com a qualidade do composto (NAKAJIMA et al., 2006). Portanto, tem-se o agrupamento apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Agrupamento das usinas estudadas conforme a estrutura e a qualidade do composto de lixo produzido no estado de São Paulo.

Municípios	Grupos
Assis – trituradores ou moinhos	A – Boa infra-estrutura e alta qualidade do composto
Garça – peneiras rotatórias	
Parapuã – peneiras rotatórias	
S. Jose dos Campos – Dano	
Uru – peneiras rotatórias	
Martinópolis – peneiras rotatórias	B – Boa infraestrutura e baixa qualidade do composto
S.J. Do Rio Preto – peneiras rotatórias	
Tarumã – trituradores ou moinhos	
Bocaina – trituradores ou moinhos	C – Baixa infraestrutura e boa qualidade do composto
Itatinga – peneiras rotatórias	
Oswaldo Cruz – não possui tratamento	
Adamantina – peneiras rotatórias	D – Baixa infraestrutura e baixa qualidade do composto
P. Bernardes – peneiras rotatórias	

Fonte: Nakajima et al. (2006).

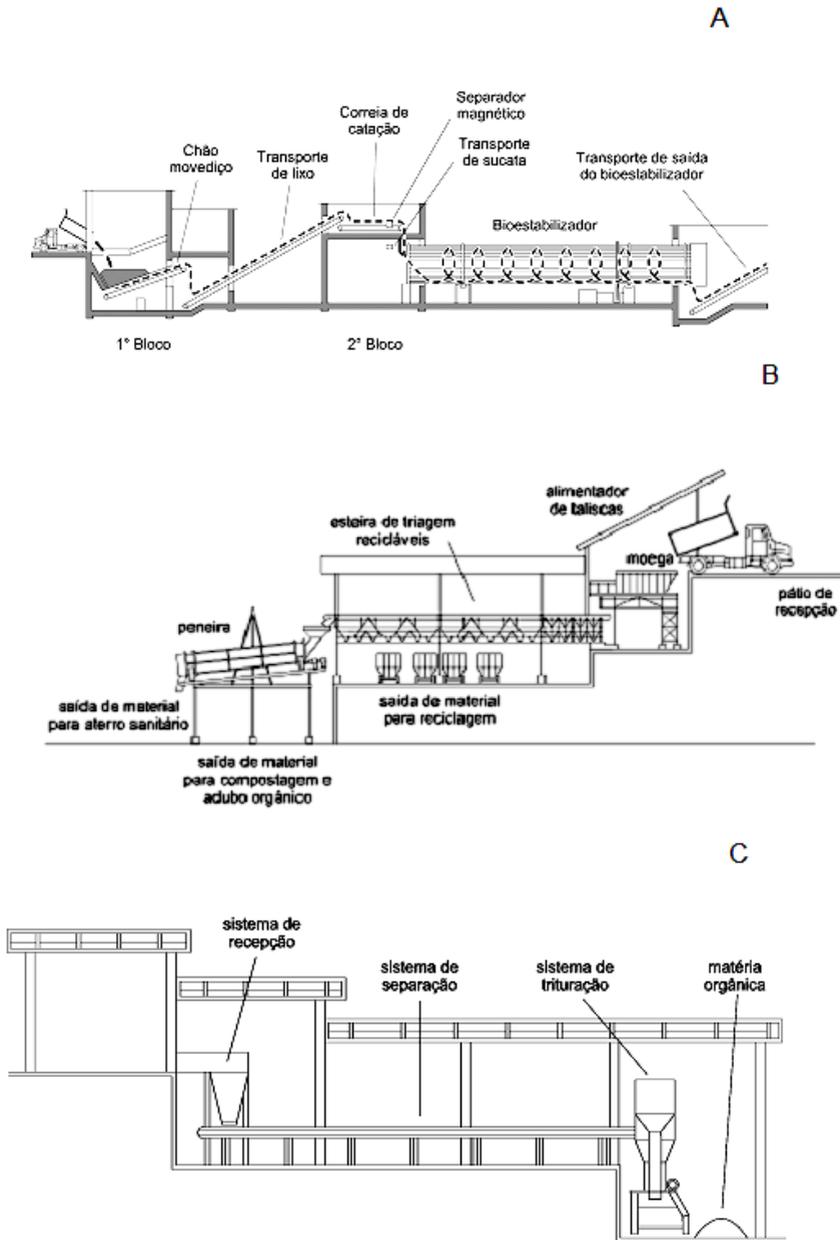


Figura 7. Classificação de URC em função da infraestrutura e processo de acordo com Barreira (2005): A - Bioestabilizador Dano (ALMEIDA et al., 2000), B - peneiras rotativas e C - trituradores ou moinhos, baseado em Barreira (2005).

## Qualidade dos compostos de lixo

Anualmente é divulgado pela Cetesb o IQC de cada usina de compostagem do estado de São Paulo (CETESB, 2004, 2010, 2011, 2014), cujas instalações estejam em pleno funcionamento. Conforme apresentada na Tabela 4, são descritos os valores do IQC correspondentes a essas usinas (SILVA et al., 2009).

**Tabela 4.** Evolução dos índices de qualidade da compostagem - IQC's das usinas de compostagem do Estado de São Paulo – Período de 1997 a 2005.

Municípios	IQC									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
Adamantina	5,8	5,8	4,6	4,6	2,8	2,9	3,0	3,6	6,4	
Assis	6,7	7,2	7,6	-	7,6	6,9	6,9	6,8	6,1	
Bocaina	-	-	-	-	-	6,6	5,6	4,9	6,1	
Garça	6,2	7,1	5,7	5,6	6,5	6,7	7,9	8,1	8,1	
Itatinga	-	4,6	6,7	7,4	-	7,4	7,6	5,8	6,2	
Martinópolis	-	-	-	-	-	6,9	6,3	6,3	5,8	
Osvaldo Cruz	3,7	3,0	3,6	3,6	1,9	3,3	3,5	3,9	4,3	
Parapuã	-	7,0	-	6,7	6,5	7,1	7,1	6,6	6,8	
Presidente Bernardes	-	-	-	7,2	8,7	8,7	6,6	5,1	5,6	
São José dos Campos	9,9	9,7	9,6	8,9	8,9	9,7	9,6	9,7	9,6	
São José do Rio Preto	8,4	8,4	8,4	8,6	8,1	8,3	9,1	9,1	9,9	
Tarumã	8,1	8,1	7,9	8,1	8,1	8,1	8,1	7,9	8,1	
Uru	-	-	-	8,4	8,2	7,4	6,9	6,9	7,1	

Fonte: Cetesb (2004, 2007).

O IQC tem, por objetivo, diagnosticar a segurança sanitária da unidade de triagem/reciclagem e compostagem (URC) e não de retratar as características do composto maturado, ou seja, se estiver pronto para ser comercializado e aplicado no solo requer registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

O IQC por sua vez, mesmo sendo utilizado como padrão de referência pela Cetesb, poderia ser aprimorado. Alguns parâmetros de extrema importância na composição do composto são desconsiderados (patógenos, mercúrio, cromo, entre outros), demonstrando a fragilidade, e não a representabilidade desse índice.

Para se conseguir um índice mais confiável, alguns critérios ou regras deverão ser frequentemente evoluídos à luz de novos conhecimentos sobre o tema e da legislação vigente. O sistema SIRCLUA incorporou critérios adaptados pelos autores e de outros trabalhos publicados (Silva et al., 2002b; SILVA et al., 2009) e da Instrução Normativa (IN) nº 25 de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Mapa (BRASIL, 2009), entre eles estão:

- **Tipo de coleta do lixo:** O composto proveniente do processo de compostagem, sendo derivado de coleta de lixo, feito de forma não seletiva, deverá ser considerado inadequado a ser aplicado no solo.
- **Contaminação por patógeno:** O composto pode ou não estar livre de certos microrganismos responsáveis pela sua contaminação. Alguns patógenos como: coliformes fecais, Salmonella sp. e helmintos precisam estar de acordo com o limite estabelecido para agricultura, caso isso não ocorra o CLU não deverá ser aplicado ao solo agrícola e sim, ser encaminhado para aterro sanitário.
- **Limites permitidos de metais pesados:** Limites para metais pesados já foram estudados e definidos para compostos pela Instrução Normativa (IN) nº 25 de 2009. Caso o teor de algum metal pesado ultrapasse o limite, o composto não deverá ser aplicado no solo por ser inadequado.

Os resultados das análises químicas têm por finalidade demonstrar a qualidade dos compostos, determinando seu valor como fertilizante para agricultura. Além de permitir a interpretação dos parâmetros dentro dos limites exigidos pela Legislação Brasileira, incluindo as tolerâncias estabelecidas em cada caso, os resultados analíticos podem garantir a qualidade do produto, aumentando seu poder de venda.

Em algumas usinas estudadas por Barreira (2005), os compostos são regularmente submetidos a análises químicas, como por exemplo, nos municípios de Bocaina, Martinópolis, Osvaldo Cruz, São José dos Campos, São José do Rio Preto (ANDRADE, 2010), São Paulo e Uru, em Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares da Cetesb de 1997 à 2005. Para os agricultores que compram esses adubos, esse tipo de resultado é de extrema importância, pois garante se o fertilizante possui ou não nutrientes balanceados e em quantidades suficientes.

Anteriormente à promulgação das normas de controle específicas de qualidade (BRASIL, 2006, 2009), os compostos de resíduo sólido urbano eram caracterizados biológico, física e quimicamente como material orgânico bastante heterogêneo, em função das matérias-primas contidas no resíduo sólido urbano, da origem (domésticos ou industriais) e da natureza (orgânica ou inorgânica) dos resíduos, da temperatura e do nível de maturação final da compostagem (ABREU JUNIOR et al., 2005; 2009; BERTON; VALADARES, 1991; CRAVO et al., 1998; EGREJA FILHO et al., 1999).

Pela normativa de fertilizante orgânico classe C do Mapa (Brasil, 2009), no composto não é obrigatório discriminar os teores de nutrientes como ocorre em fertilizante mineral. Porém a informação da concentração de nutriente, se por um lado daria a idéia da contribuição de seu valor como fertilizante, por outro lado obriga o produtor colocar garantias mínimas para cada nutriente inserido em seu registro. Deste modo, os principais nutrientes e seus valores limites considerados para composto de lixo foram baseados nos critérios e analisados segundo Kiehl (1985). Para fins de simplificar o entendimento sobre os valores

das análises químicas, os resultados serão divididos em: maturação do composto (Tabela 5), nutrientes e metais pesados (Tabela 7), os quais serão discutidos separadamente.

Os resultados das análises químicas dos processos de produção e qualidade para os compostos das Usinas de Compostagem do estado de São Paulo (BARREIRA, 2005) e comparados com dados de outros autores (ABREU JUNIOR et al., 2012; SILVA et al., 2004, 2009) são apresentados a seguir:

### **Maturação do composto**

A maturação do composto dá-se pelos resultados do índice de pH, relação carbono/nitrogênio (C/N) e capacidade de troca catiônica (CTC), os quais indicam se a decomposição da matéria-orgânica atingiu níveis desejáveis para que o composto possua certos padrões de qualidade. Embora não represente o nível de maturação do composto, o teor de umidade será incorporado para a discussão, assim como a quantidade de matéria orgânica (Tabela 5).

**Tabela 5.** Médias para as análises químicas para a maturação e nutrientes dos compostos das usinas de compostagem do estado de São Paulo (2003/2004).

Municípios	Maturação do Composto					Nutrientes				
	pH	CTC mmo <sub>6</sub> /dm <sup>3</sup>	C/N	MO (%)	Umidade (%)	N total g/kg	P	K	Ca	Mg
									mg/kg	g/kg
Adamantina	7,64	27,50	23,13	20,82	28,07	6,26	279	3110	23,54	2,82
Assis	7,34	31,25	18,12	38,21	39,66	8,16	483	3801	31,66	3,49
Bocaina	7,24	29,26	15,40	28,98	32,96	10,45	462	3700	34,63	2,26
Garça	7,89	29,48	18,41	19,34	31,64	5,81	239	2808	23,95	2,42
Itatinga	7,98	32,12	18,93	24,34	38,70	6,52	369	2805	28,57	2,65
Martinópolis	7,74	25,96	14,15	15,85	25,47	4,84	162	2405	15,92	2,18
Osvaldo Cruz	7,53	25,85	18,49	13,86	26,18	3,47	187	1507	17,46	1,88
Parapuã	8,17	30,37	18,52	19,60	22,92	5,69	483	3805	21,23	3,01
Presidente Bernardes	7,79	28,71	14,21	18,39	30,85	6,31	430	2806	35,44	2,91
S.J. dos Campos	7,33	25,41	18,32	25,82	27,23	6,08	434	3015	23,17	2,25
S.J. do Rio Preto	8,05	31,68	29,49	32,38	31,17	6,36	429	4311	30,24	3,48
Tarumã	7,95	31,57	14,61	21,82	18,02	7,24	413	4118	28,12	3,33
Uru	7,92	25,19	18,26	11,19	22,22	3,45	206	2206	25,56	1,84

Fonte: Barreira (2005).

O índice de pH fornece informações sobre o estado de decomposição da matéria-orgânica do fertilizante. Valores muito baixos para pH demonstram a imaturidade do composto. No entanto, valores muito altos também podem causar algum tipo de dano e podem limitar o uso de composto puro em algumas atividades, como por exemplo, na produção vegetal em viveiros. De acordo com os padrões da Legislação Brasileira que exige, para a comercialização do composto, valores de no mínimo 6,0 com tolerância até 5,4 para pH, todos os grupos estão dentro do limite.

Segundo Kiehl (1998), a CTC é um parâmetro que indica, principalmente, o grau de estabilidade do composto. A análise de CTC é considerada um excelente e confiável parâmetro de acompanhamento da maturação do composto, pois, à medida que se forma o húmus há um aumento na capacidade de troca catiônica. No entanto, a Legislação Brasileira não exige sua determinação.

A umidade é um parâmetro importante sob o ponto de vista do agricultor. A Legislação Brasileira delimita o valor de 40% com tolerância até 44%. Comparando-se os compostos entre os Grupos, conclui-se que todos estão dentro do parâmetro exigido pela Legislação Brasileira (SILVA et al., 2009). A maturação do composto dá-se pelos resultados do índice de pH, relação C/N e CTC, os quais indicam se a decomposição da matéria-orgânica atingiu níveis desejáveis para que o composto possua certos padrões de qualidade. Embora não represente o nível de maturação do composto, o teor de umidade será incorporado para a discussão, assim como a quantidade de matéria-orgânica.

O conhecimento do parâmetro da relação C/N indica o grau de decomposição do composto, considerando o valor de 18/1 fertilizante semicurado e, abaixo desse valor, até 10/1, para fertilizante curado. O uso de composto na atividade agrícola com relação C/N fora desses padrões é prejudicial para as culturas, já que não está totalmente curado, causando uma competição por nutrientes para o término da decomposição. Analisando os dados obtidos por Barreira (2005) e considerando as normas da Legislação Brasileira, os compostos de

Assis, Bocaina, Garça, Itatinga, Osvaldo Cruz, Parapuã, São José dos Campos e Uru estão dentro dos limites exigidos (Tabelas 5 e 6).

De acordo com a Legislação Brasileira, que exige valores de no mínimo 40% de matéria orgânica com tolerância de 10% a menos, todas as usinas com exceção a de Assis, apresentaram valores insatisfatórios no que tange a legislação.

Do ponto de vista mercadológico, os resultados de baixo conteúdo de matéria orgânica nos compostos comprometem seu valor agregado de mercado. Isso porque os consumidores não só esperam que o produto esteja estabilizado não causando danos às plantas, mas que tenham, também, alto conteúdo de matéria orgânica. Além disso, valores muito baixos de matéria orgânica (MO) podem indicar a presença de contaminantes, o que não é desejável (BARREIRA, 2005).

As análises de nutrientes presentes nos compostos dão noção sobre o seu valor como fertilizante. Os valores de N para os compostos mensurados por Barreira (2005) são apresentados na Tabela 5, os quais valores estão na maioria dentro do preconizado pela legislação, em comparação por usinas quanto para os grupos. Quanto ao fósforo, os maiores teores foram encontrados nos compostos de Assis, Bocaina, Parapuã, Presidente Bernardes, São José dos Campos, São José do Rio Preto e Tatumã, enquanto os mais baixos valores nos compostos de Martinópolis e Osvaldo Cruz. Considerando os valores propostos por Kiehl (1985), todos os compostos estão com valores muito abaixo de 0,5%.

O cálcio apresentou maiores valores nos compostos produzidos em Assis, Bocaina, Presidente Bernardes, e São José do Rio Preto. Os menores valores foram encontrados em Martinópolis, Osvaldo Cruz e Uru. A Legislação Brasileira não apresenta valores mínimos para esse elemento, mas de acordo com Kiehl (1985) e Silva et al. (2002b), todos os compostos estão nos níveis médio e alto para a quantidade de cálcio. A presença de cálcio nos compostos se deve ao fato dos resíduos terem em sua composição restos de frutas, verduras, papel

e madeira que contribuem para que esse elemento seja encontrado no produto final (BARREIRA, 2005).

O magnésio apresentou maiores valores para Assis, Parapuã, São José do Rio Preto e Tarumã, enquanto menores quantidades em Osvaldo Cruz e Uru. Na escala proposta por Kielh (1985), todos os compostos estão muito abaixo dos valores sugeridos para o magnésio. Quanto ao manganês, foram encontrados valores extremamente elevados para Assis, Bocaina, e Tarumã, enquanto São José dos Campos apresentaram valores muito baixos. Os valores de potássio obtidos pela autora, se classificados pelo critério de Kiehl (1985), todos os compostos apresentam valores baixos desse elemento. O enxofre obteve índices médios em Bocaina, São José do Rio Preto e Tarumã, enquanto os demais compostos apresentam baixos valores para esse elemento. A quantidade de ferro teve uma variação muito grande nos compostos analisados e seus maiores valores foram encontrados em Assis, Garça e Tarumã, segundo os valores observados por Barreira (2005) e Barreira et al., (2006).

## **Metais Pesados**

De acordo com a Legislação Brasileira, que estipula valores limitantes apenas para alguns metais, como nota-se na Tabela 6, verifica-se que todos os grupos apresentaram valores abaixo dos limites estipulados por Barreira (2005).

Para se utilizar como base comparativa com os resultados de Barreira (2005) com valores da literatura (ABREU JUNIOR et al., 2005), que em seu trabalho testaram-se métodos para avaliar metais pesados em compostos produzidos nos municípios de Mococa e Adamantina, no estado de São Paulo, encontraram teores de Cu (75 a 119 mg kg<sup>-1</sup>) e Zn (178 a 354 mg kg<sup>-1</sup>), inferiores aos dos observados na Tabela 7.

A autora observou que os teores de níquel, o cádmio e o chumbo estão abaixo do nível de detecção, não representando problema em qualquer legislação que se aplique. É fundamental fazer a avaliação correta dos metais pesados no processo de compostagem e especialmente

no produto que se deseja comercializar para agricultores (SILVA et al., 2006a, 2006b, 2007a, 2007b, 2010a, 2010b), porque se não houver controle poderá ocorrer o risco da passagem de metais do composto para solo (SILVA et al., 2006a) e à planta (SILVA et al., 2007), depende da presença da forma química de cada metal que foi mensurado nos estudos de Chitolina et al. (2012) e Silva et al. (2013).

Os baixos níveis desses elementos nos compostos analisados podem ser explicados pela diminuição da quantidade desses metais em pilhas e baterias por meio da aplicação da Resolução n° 557/99 do Conama (ALMEIDA; VILHENA, 2000; SILVA et al., 2009).

**Tabela 6.** Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos originário de lixo urbano (classe C).

<b>Contaminantes</b>	<b>Valores máximos admitidos</b>
Cádmio (mg/kg)	3
Chumbo (mg/kg)	150
Mercúrio (mg/kg)	1
Níquel (mg/kg)	70
Cromo (mg/kg)	200
Coliformes fecais – número mais provável por grama de sólidos totais (NMP/g ST)	1000
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (no em 4g ST)	1
Salmonella sp – número mais provável por grama de sólidos totais (NMP/g ST)	3

Fonte: Brasil (2009)

**Tabela 7.** Médias para metais pesados nos compostos de lixo produzidos nas usinas paulistas.

<b>Metais (mg kg<sup>-1</sup>)</b>							
<b>Municípios</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Ni</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>
Adamantina	212	502	8848	2037	< LD	< LD	< LQ
Assis	581	889	14738	762	< LD	< LD	< LQ
Bocaina	202	750	9951	840	< LD	< LD	< LQ
Garça	448	391	12263	780	< LD	< LD	< LQ
Itatinga	157	292	12382	627	< LD	< LD	< LQ
<i>Martinópolis</i>	<i>81</i>	<i>217</i>	<i>7821</i>	<i>852</i>	< LD	< LD	< LQ
Oswaldo Cruz	58	222	11031	485	< LD	< LD	< LQ
Parapuã	151	295	6991	744	< LD	< LD	< LQ
P. Bernardes	116	384	8218	963	< LD	< LD	< LQ
São .J. dos Campos	205	390	12038	1178	< LD	< LD	< LQ
S.J. do Rio Preto	405	536	8573	749	< LD	< LD	< LQ
Tarumã	193	483	31108	626	< LD	< LD	< LQ
Uru	56	177	10245	476	< LD	< LD	< LQ
Medias	206	401	11809	891	< LD	< LD	< LQ

LD: menor que o limite de detecção.

LQ: menor que o limite de quantificação.

Fonte: Barreira (2005).

## **Balanço da utilização dos compostos: pontos forte e debilidades das URCs Paulistas**

Os compostos produzidos nas usinas, indiferentemente à sua qualidade, possuem diferentes formas de uso, como já observado por Barreira (2005), conforme a Tabela 7. Segundo os dados apresentados, os compostos produzidos nas URCs estudadas pela autora têm sua utilização mais comum na atividade de jardinagem, sendo seguida pela horta e cafeicultura.

Na cultura de cana-de-açúcar, os compostos são utilizados após a colheita para ajudar na reestruturação do solo. Praticamente, não há risco ambiental e mensurou-se que é baixíssima a passagem de metais para o caldo de cana a ser utilizado na fabricação do açúcar, etanol e bebidas (SILVA et al., 2002c, 2007a). Há utilização também em viveiro de plantas, tem os mais baixos índices de utilização e deveria ser composto de resíduos domiciliar de coleta seletiva.

No que diz respeito a utilização em pomar, o composto produzido em São José do Rio Preto não se limita apenas a adubar as culturas de laranja, mas também é utilizado na produção de uva e limão (ANDRADE, 2010). Em Garça, o composto produzido é utilizado na produção de café orgânico, agregando valor a este tipo de produto, diferenciado-o no mercado (BARREIRA, 2005).

Em muitas cidades estudadas por Barreira (1995) que será utilizado os resultados como base para discussões da metodologia de quadrantes, os compostos são utilizados pela própria prefeitura em canteiros de plantas e flores e em hortas comunitárias, sendo a ultima opção indicada de compostos de origem de coleta seletiva, como no caso de Tarumã.

Entretanto, os resultados de Barreira et al., (2006) são importantes pela abrangência satisfatória de URCs avaliadas. Ressalvo que até então também não havia relatos de estudos da variação temporal da qualidade de compostos de resíduo sólido urbano produzidos no Brasil, quando SILVA et al., (2004) fizeram uma comparação dos sistemas

Faber-Ambra, DANO original, na unidade de reciclagem e compostagem (URC) de São José dos Campos (SP), e DANO modificado, com rotação acelerada do cilindro bioestabilizador, da URC de Vila Leopoldina, São Paulo, Capital, para faixas de variação na composição e concluíram que somente o composto obtido pelo sistema DANO original, com maturação mínima de 50 dias, apresentava qualidade compatível para uso agrícola. Os autores verificaram a interferência direta do gestor no resultado do processo na qualidade do composto, quando se alterava a rotação do cilindro bioestabilizador no processo DANO, reduzindo a permanência do resíduo para 6 horas, haveria necessidade de um tempo mínimo de compostagem em leiras superior a 110 dias. A qualidade da separação da fração inerte do resíduo sólido urbano é fator essencial e imprescindível para a obtenção de composto com características agrônômicas desejáveis (ABREU JUNIOR et al., 2005, 2009, 2012; SILVA et al., 2005, 2009). Portanto, uma URC que está no momento enquadrada em um dado quadrante poderia ter-se modificado com uma atuação de seu gestor.

Portanto, é fundamental ter informações adicionais que foram fornecidas pelos gestores das usinas por meio do questionário aplicado em uma metodologia complementar para diagnóstico que continha também outras questões relevantes. Com o intuito de diagnosticar as vantagens e limitações observadas sob o ponto de vista de cada gestor das URCs, utilizando-se de questionário, apresentou a questão sobre pontos fortes da usina e os que ainda precisam ser melhorados. É importante ressaltar que as questões eram abertas, não havendo indução nas respostas apresentadas.

Dentre os municípios que consideram os benefícios sócio-ambientais na gestão estão Assis, Bocaina, Martinópolis, Osvaldo Cruz, Presidente Bernardes, São José Rio Preto e São José dos Campos.

Para tanto, sugere-se um programa de coleta seletiva, tradicionalmente, é feita triagem pela própria comunidade, separando os resíduos nos domicílios e estabelecimentos, e, na URC, alguns funcionários finalizam a separação, sem maquinário especial. Sem a coleta do resíduo sólido

urbano orgânico em separado, a separação de inertes da fração orgânica torna-se difícil e compromete a qualidade do composto (ABREU JUNIOR et al., 2005, 2009, 2012; SILVA et al., 2004, 2009).

Quanto à questão econômica, os benefícios ambientais são considerados o destino adequado dos resíduos sólidos com diminuição do material a ser aterrado, tendo como consequência o aumento da vida útil do aterro, o agregamento de valor aos materiais recicláveis e o tratamento da matéria orgânica por meio da compostagem. Os sociais englobam, principalmente, a abertura de novos empregos, o que será demonstrado ser fundamental no terceiro estudo de caso.

Os recursos humanos também foram lembrados pelos gestores das usinas de Adamantina, Garça, Osvaldo Cruz e Uru tendo como ponto principal a triagem, considerada por eles como bem realizada pelos operadores.

Juntamente com o índice de recursos humanos, estão a coleta diária de resíduos (Garça, Parapuã, São José do Rio Preto e Tarumã) que impede que os resíduos cheguem às usinas num estado avançado de decomposição, a qualidade do composto (Garça, Martinópolis, São José dos Campos e Uru) e a coleta diferenciada de RSU (Garça e São José do Rio Preto).

Na sequência tem-se o tratamento de chorume (Garça, São José do Rio Preto e Parapuã) que impede a contaminação do meio ambiente e a parte mecânica citada pelos municípios de Adamantina e Osvaldo Cruz, como observaram Barreira (2005) e Barreira et al., (2006).

Deve-se ressaltar que as URCs ao registrarem seus compostos orgânicos classe C atendendo as normas do Mapa (BRASIL, 2009), proporcionou a melhoria de qualidade do produto para que este seja enquadrado no grupo A (Tabela 3), por exemplo a URC de São José do Rio Preto fez o seu registro em 2010.

Os demais pontos positivos citados pelos autores foram citados

por apenas um município por categoria, a saber: não ocorrência de chorume e ausência de moscas (Tarumã), referência regional e proximidade de potenciais compradores (Itatinga) e preço elevado pelo composto (Bocaina).

Quanto aos aspectos negativos, a falta de educação ambiental, tendo a ausência da coleta seletiva como principal consequência, é entendida pelos gestores como um dos grandes entraves para o sucesso das usinas (BARREIRA et al., 2006).

Mas para um bom desempenho das usinas e da produção de um composto com boa qualidade, algumas condições do processo devem ser observadas (BARREIRA et al., 2006; SILVA et al., 2009): a) resíduos orgânicos; b) microrganismos; c) umidade; d) aeração.

Conforme apresentado na tabela 8, onde cada usina de compostagem foi classificada em função dos parâmetros não conformes analisados no composto obtidos nos resultados de Barreira (2005), nota-se nitidamente a falta de cuidado em muitas das condições descritas anteriormente.

**Tabela 8.** Número de conformidade atendida pelo resultado analítico da qualidade do composto de lixo nas usinas de compostagem paulistas, em relação à legislação.

Usinas de compostagem	Número de conformidades	Parâmetros não conformes	não Agrupamento em quadrantes
Adamantina	2	C/N, MO	4
Assis	0	NENHUM	1
Bocaina	1	MO	3
Garça	1	MO	1
Itatinga	1	MO	3
Martinópolis	2	C/N, MO	2
Oswaldo Cruz	1	MO	3
Parapuã	1	MO	1
P. Bernardes	2	C/N, MO	4
S.S. dos Campos	1	MO	1
S. J. Do Rio Preto	2	C/N, MO	2
Tarumã	2	C/N, MO	2
Uru	1	MO	1

Dando continuidade à interpretação dos resultados apresentados na Tabela 8, conclui-se que:

1) Usinas pertencentes ao quadrante 1:

para as usinas de compostagem dos municípios de Assis, Garça, Parapuã, São José dos Campos e Uru, pertencentes a esse quadrante, são destacados a boa eficiência nos processos de compostagem (equipamentos) juntamente com a parte operacional bem estruturada e qualificada.

## 2) Usinas pertencentes ao quadrante 2:

para as usinas de compostagem dos municípios de Martinópolis, S.J. dos Campos e Tarumã; nota-se pelas análises e interpretação de Barreira (2005), que são usinas que apresentaram bons resultados de IQC – o que mostra uma boa eficiência nos processos de compostagem – porém apresentaram compostos com alguma deficiência no que tange a sua qualidade. Isso demonstra que apenas maquinária sem qualificação não é suficiente.

As análises e as avaliações técnicas efetuadas em várias usinas de compostagem levam a concluir, dentre outros fatores, que um dos principais entraves ao processo tem sido a falta de mão de obra capacitada. Isso se comprova nas usinas em questão, como destacado por alguns autores (NAKAJIMA et al., 2007; SILVA et al., 2009). Na maioria das vezes, o gestor encontrado coordenando uma usina de compostagem, não tem experiência prévia sobre compostagem de resíduos orgânicos. O sistema especialista teria uma contribuição importante para facilitar os trabalhos dos técnicos, mas o responsável deveria possuir um mínimo de treinamento para tal atividade, sem o qual, não terá os conhecimentos importantes do que fazer para produzir um bom composto, assim como os requisitos necessários para o controle biológico do processo para que ocorram as transformações do carbono durante a compostagem, em especial na fase de humificação (BALLESTERO et al., 2000; FORTES NETO et al., 2013).

## 3) Usinas pertencentes ao quadrante 3:

para as usinas de compostagem dos municípios de Bocaina, Itatinga e Osvaldo Cruz observadas por Barreira (2005), ocorre exatamente o inverso das usinas do quadrante 2. Nesse caso, as usinas apresentam um composto de boa qualidade, porém apresentaram resultados baixos de IQC, o que significa que o problema esta presente nos processos.

Nesse caso fica nítida a ineficiência por parte de algum setor da usina (basicamente formados por recepção e expedição, usina de triagem, pátio de compostagem, beneficiamento e armazenamento), já que para diferentes usinas com o mesmo processo, foram produzidos compostos bem diferenciados.

Tudo isso porque é impossível obter o composto orgânico, a partir da fração orgânica do lixo urbano, em menos de 60 dias, pois não existem equipamentos que façam composto orgânico que requer estabilização da fração orgânica (BALLESTERO et al., 2000; FORTES NETO et al., 2013), eles apenas auxiliam e aceleram o processo que é biológico. Sendo assim, a manutenção correta nessas instalações é de extrema importância. Por tratar-se de tecnologia importada, Barreira (2005) destaca que nem sempre está adaptada às características do “lixo” (resíduo sólido domiciliar brasileiro), existe, ainda, o agravante da ineficiência de uma percentagem reduzida de coleta seletiva ou diferenciada no município (SILVA et al., 2009), o que contamina a massa de compostagem do biodigestor (processo dano), nas extintas unidades paulistanas. Entretanto, segundo Silva et al., (2004, 2009) e Abreu Junior et al. (2012) ressaltam que o processo de compostagem de resíduo sólido domiciliar no sistema DANO, em São José do Campos, SP (ABREU JUNIOR et al., 2012), sempre mantiveram a produção de um CLU de boa qualidade temporalmente para agricultura por ter um bom gerenciamento técnico, por isso foi enquadrada no primeiro quadrante .

#### 04) Usinas pertencentes ao quadrante 4:

para as usinas de compostagem dos municípios de Adamantina e Presidente Bernardes observadas por Barreira (2005) pertencentes a esse quadrante, são destacadas pela baixa eficiência nos processos de compostagem (equipamentos) juntamente com a parte operacional comprometida.

A falta de beneficiamento do composto é apontada pelos municípios de Adamantina, Itatinga, e Presidente Bemardes, como

comentado por Barreira (2005). No caso de Adamantina, a mudança do pátio de compostagem para outro local contribuirá para que o beneficiamento do composto seja realizado brevemente. Em contrapartida, Itatinga e Presidente Bernardes já possuem as peneiras para o composto, mas encontram-se ainda desinstaladas na época até 2006 (BARREIRA et al., 2006).

Também foram citados, pelos gestores, a necessidade de melhorias na qualidade do composto ainda no pátio (Martinópolis, Presidente Bernardes e Tarumã), que inclui a formação de leiras mais adequadas e revolvimentos mais frequentes para aumentar a oxigenação da massa (BARREIRA, 2005). De um modo geral, há necessidade comum para melhoria da infraestrutura das URCs que enquadram no quarto quadrante, como:

- Aquisição de equipamentos específicos – carregadeiras ou outro para revolvimento (manutenção da condição aeróbica do processo).
- Necessidade de investimentos nas instalações básicas definidos nos requisitos do IQC da Cetesb.
- Diminuição da distância entre o pátio de compostagem e a peneira para beneficiamento do composto.
- Falta de conhecimento dos benefícios advindos da utilização agrícola do composto e registrá-lo como composto de resíduo sólido urbano orgânico como fertilizante orgânico classe C , segundo a Instrução Normativa (IN) nº 25 de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Mapa (BRASIL, 2009).
- Falta de conhecimento e planejamento na compra das usinas, muitas vezes utilizando maquinarias estrangeiras e inadequadas à nossa realidade.

Neste sentido, deve promover eventos sobre Políticas Públicas visando-se discutir alternativas práticas voltadas à realidade brasileira para melhor aplicar à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei

12305/2010), no âmbito do município. Entendeu-se que as soluções para estes problemas devem contemplar, fundamentalmente, a pluralidade de alternativas tecnológicas e o controle social sobre a gestão de resíduo sólido domiciliar. Assim como devem ser incentivadas políticas públicas para coleta seletiva dos resíduos sólidos e dos orgânicos, prioritariamente com a separação das respectivas frações no local de origem, por exemplo, resto de alimento separado isolada e diretamente na cozinha, pelo gerador.

Em síntese, a compostagem dos resíduos sólidos urbanos é uma alternativa estratégica em nossas condições de clima tropical e solos ácidos para a gestão pública municipal, mas requer um compromisso ambiental, agrícola e social por parte do gestor (SILVA et al., 2009).

Para a classificação dos grupos, foi criado o Índice de Adequação do Composto para a Agricultura (IACA<sup>2</sup>), baseado nas análises efetuadas no composto. As URC's foram agrupadas conforme a infraestrutura de acordo com o IQC e a qualidade do composto nos quatro quadrantes apresentados e pode ser uma metodologia útil para diagnósticos de URCs. O IACA tem por objetivo e permite retratar as características do composto maturado, ou seja, está pronto para ser comercializado após certificado de acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 25 de 2009, do Mapa (BRASIL, 2009) e pode ser aplicado no solo.

### **Terceiro Caso**

Seleção de indicadores de compostagem e uso agrícola por análise multicritérios, descrito em Nakajima et al. (2007):

O passo final da análise multicritério é usar um procedimento metodológico utilizado para buscar e definir a matriz de diagnóstico. Tal matriz contém uma classificação das preferências entre as alternativas estruturadas para análise multicritério realizada por Nakajima et al. (2007). Para os propósitos deste trabalho, as alternativas são unidades de reciclagem e compostagem – URC's - encontrados no processo de classificação. Os critérios são os indicadores de sustentabilidade definidos para cada domínio da sustentabilidade.

- Indicadores de Sustentabilidade –

Para tornar todo o processo operacional, propôs-se o uso de 35 (trinta e cinco) indicadores de sustentabilidade estabelecidos pelos autores.

Os **indicadores** foram retirados dos questionários aplicados e agrupados em três conjuntos para cada domínio da sustentabilidade: 10 sociais, 13 técnico-econômicos e 12 ecológicos.

Quanto aos **indicadores técnicos** teríamos:

- 1) Aspecto geral da unidade.
- 2) Proximidade de núcleos habitacionais.
- 3) Acesso e condições do sistema de trânsito.
- 4) Manutenção periódica dos equipamentos.
- 5) Impermeabilização do pátio de compostagem.
- 6) Tempo de compostagem.
- 7) Peneiramento depois da cura.
- 8) Eficiência da triagem na esteira.
- 9) Disposição de maquinário.
- 10) Uso de maquinário.
- 11) Avaliação da Qualidade da URC (IQC – Cetesb).
- 12) Condições de segurança (cercamento da área e guarita).
- 13) controle operacional do processo.

Os **indicadores sociais** definidos foram:

- 1) Treinamento do corpo técnico.
- 2) Cooperativa de catadores.
- 3) Acesso à informação.
- 4) Condições e segurança do trabalho.
- 5) Problemas de salário do funcionário.
- 6) Condições sanitárias e de higiene da unidade.
- 7) Problemas de saúde humana.
- 8) Educação ambiental para escolas da região.
- 9) Preservação da natureza.
- 10) Percepção socioambiental do empreendimento.

Os doze **indicadores ecológicos** foram:

- 1) Exalação de Odor.
- 2) Presença de moscas.
- 3) Aterro sanitário para rejeitos.
- 4) Tratamento e coleta de chorume.
- 5) Porcentagem de inertes no composto.

- 6) Produção de chorume.
  - 7) Monitoramento do composto (análises laboratoriais).
  - 8) Monitoramento da água subterrânea.
  - 9) Acompanhamento da área agrícola de aplicação.
  - 10) Possibilidade de contaminação do solo e água.
  - 11) Coleta seletiva ou diferenciada.
  - 12) Maturação do composto.
- Matrizes de Avaliação, de Prioridade e de Diagnóstico –

Os trinta e cinco indicadores foram agregados em sete principais objetivos específicos.

Os objetivos definidos por Nakajima et al. (2007) foram:

- Impactos Ambientais com nove indicadores.
- Práticas Operacionais com sete indicadores.
- Infraestrutura com três indicadores.
- Administração com quatro indicadores.
- Qualidade do Composto com três indicadores.
- Qualidade de Vida com seis indicadores.
- Preocupação Ambiental com quatro indicadores.

O passo final na análise multicritério foi usar o procedimento de busca – SAW (Equação 1) para definir a matriz de diagnóstico.

$$U_i = \sum_j w_j e_{ji}, \text{ Onde:} \quad (\text{Equação 1})$$

$U_i$  = pontuação final

$w_j$  = peso original (relativo à importância para cada critério).

$e_{ji}$  = número do critério padronizado, para  $i$  alternativa e  $j$  critério.

Para fins de exemplificar os valores agregados teremos os resultados na Tabela 9.

**Tabela 9.** Resultados de unidades de reciclagem e compostagem (URCs) das matrizes de diagnóstico administrativo e social (a), econômico (b) e técnico-operacional (c).

Objetivo	Unidade de Reciclagem e Compostagem - URC									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
--- Diagnóstico Administrativo e Social (a) ---										
1	8,9	10,2	11,2	12,9	14,4	15,7	16,9	18,3	19,4	20,7
2	5,1	4,7	3,7	3,3	3,0	2,5	2,0	1,6	0,6	0,3
3	6,1	5,4	4,6	4,1	3,5	2,9	2,2	1,9	1,1	0,9
4	5,6	5,2	4,4	3,9	3,4	2,6	1,8	1,5	0,8	0,5
5	4,7	4,1	3,7	3,2	2,8	2,4	1,7	1,4	0,8	0,4
6	5,5	5,1	4,1	3,6	3,3	2,7	1,7	1,7	0,7	0,2
7	6,2	5,8	4,9	4,2	3,8	3,2	2,3	1,8	1,1	0,6
--- Diagnóstico da visão econômica (b) ---										
1	7,4	9,1	10,2	11,7	13,4	14,8	16,2	17,8	18,9	20,4
2	6,0	5,4	4,5	3,9	3,5	2,9	2,3	1,8	0,8	0,4
3	5,5	4,9	4,3	3,6	3,1	2,6	2,1	1,7	1,2	0,9
4	5,8	5,4	4,6	4,1	3,6	2,8	2,1	1,4	0,9	0,6
5	5,6	4,7	4,3	3,6	3,1	2,7	2,1	1,6	1,0	0,5
6	5,8	5,3	4,3	3,8	3,4	2,8	1,9	1,7	0,7	0,2
7	5,8	5,5	4,5	3,9	3,6	3,0	2,2	1,7	1,0	0,5
--- Diagnóstico técnico-operacional (c) ---										
1	7,7	9,3	10,3	11,7	13,5	14,9	16,3	17,8	18,9	20,4
2	6,0	5,4	4,5	3,9	3,5	2,9	2,3	1,8	0,8	0,4
3	6,1	5,4	4,6	4,1	3,5	2,9	1,9	2,2	1,2	0,9
4	5,6	5,2	4,5	4,0	3,5	2,8	2,0	1,6	0,9	0,6
5	5,2	4,4	3,8	3,1	2,7	2,3	1,8	1,5	0,9	0,5
6	5,5	5,1	4,1	3,6	3,3	2,7	1,9	1,6	0,7	0,2
7	6,5	6,0	5,1	4,4	3,9	3,2	2,5	2,0	1,2	0,6

Obs. A - Objetivos: (1) Impactos Ambientais com nove indicadores; (2) Práticas Operacionais com sete indicadores; (3) Infraestrutura com três indicadores; (4) Administração com quatro indicadores; (5) Qualidade do Composto com três indicadores. (6) Qualidade de Vida com seis indicadores e (7) Preocupação Ambiental com quatro indicadores. B – URCs: 1 – Adamantina /Peneira Rotatória; 2 – Parapuã / Peneira Rotatória; 3 – Uru /Peneira Rotatória; 4 – Martinópolis /Peneira Rotatória; 5 – Itatinga /Peneira Rotatória; 6 – Assis /Triturador ou Moinho; 7 – Bocaina /Triturador ou Moinho; 8 – S. J. Dos Campos /Bioestabilizador(Dano); 9 – Osvaldo Cruz /Sem Pré-tratamento e 10 – Presidente Bernardes/Peneira Rotatória.

## **Interpretação dos agrupamentos proposto por Nakajima et al. (2007)**

A análise agrupou quatro tipos de infraestrutura (Tabela 3) em organização proposto por Barreira et al. (2006) identificados de acordo com as características dos equipamentos utilizados:

- 1) Peneira rotatória.
- 2) Triturador ou moinho.
- 3) Bioestabilizador.
- 4) Sem pré-tratamento.

Observa-se, em relação ao grupo 4, sem pré-tratamento, significa que os materiais, após triagem na esteira, são enviados diretamente para o pátio de compostagem sem sofrer qualquer pré-tratamento adicional, tais como peneiramento ou trituração. Cabe ressaltar que a dificuldade em se agrupar as URC's em tipos de processos se dá pelo fato de que, embora possua mesmo fabricante (Gavazzi, Stollmeier, entre outros), o tipo de estrutura se diferencia de uma URC para outra. De um modo geral, há predomínio do grupo 1, peneiras rotatórias, nos processos das URC's do estado de São Paulo (BARREIRA et al., 2006). Em seguida, com 20% da preferência, estão as URC's que utilizam trituradores ou moinhos no processamento do resíduo (SILVA et al., 2009). Os processos que adotam bioestabilizadores e não utilizam pré-tratamento, ambos com 10%, apresentam-se com apenas uma URC para cada grupo.

## **Integrando Indicadores e Alternativas –**

Os elementos básicos para a definição das matrizes de avaliação e prioridade estão disponíveis. A matriz de avaliação é composta por alternativas e critérios – as dez unidades de reciclagem e compostagem representam as alternativas e os trinta e cinco indicadores de sustentabilidade representam os critérios. Três especialistas, uma pesquisadora da área, uma ecologia e uma sociologia ambiental desempenharam o papel de tomadores de decisão (decisores), atribuindo as prioridades (importância ou pesos) aos indicadores.

## **Definindo as Matrizes de Avaliação, de Prioridade e de Diagnóstico –**

Os 35 indicadores foram agregados em sete principais objetivos específicos (Tabela 9), que foram definidos por Nakajima et al. (2007), os quais foram transformados em indicadores específicos e agregados para tomada de decisão:

- 1) Impactos Ambientais com nove indicadores.
- 2) Práticas Operacionais com sete indicadores.
- 3) Infraestrutura com três indicadores.
- 4) Administração com quatro indicadores.
- 5) Qualidade do Composto com três indicadores.
- 6) Qualidade de Vida com seis indicadores.
- 7) Preocupação Ambiental com quatro indicadores. Tal processo facilita o cálculo da matriz de diagnóstico (matriz que contém a classificação das preferências entre as alternativas) com uma abordagem interativa.

O passo final na análise multicritério foi usar o procedimento de busca utilizando-se a (Equação 1) para definir a matriz de diagnóstico. Um aspecto importante no processo de avaliação pelas matrizes é a

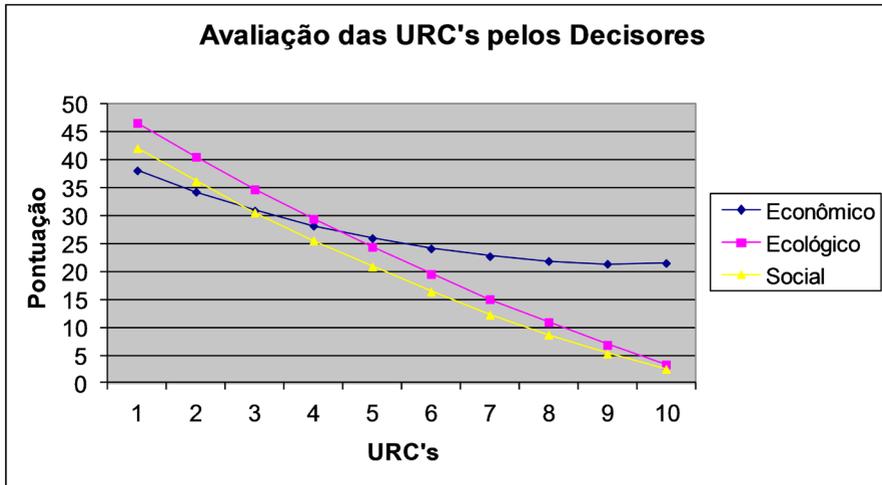
padronização dos critérios e o escalonamento dos pesos. Ressalta-se que a interpretação das visões econômica, ecológica e social baseada nas matrizes de prioridades, ou seja, a saída dos produtos das matrizes para as três visões se organiza em tabelas, exemplificando os resultados de URCs da matriz de diagnóstico administrativa e social está na Tabela 9. Observe que a palavra objetivo nas matrizes de diagnóstico pode ser usado da mesma maneira que critérios. Em uma visão mais agregada dos indicadores procedendo-se uma somatória de pontos de cada grupo: econômico-social e ecológico (Figura 8), onde se observa maior sensibilidade aos indicadores ecológicos das URC pelos decisórios (NAKAJIMA et al., 2007).

De modo geral, as URC's se apresentaram em melhores condições para a visão econômica (Figura 8), isto é, indica melhores condições quanto aos aspectos locacionais, de infraestrutura e operacionais. Ressalta-se que a visão social foi a que recebeu menor pontuação. Verifica-se que a situação social das URC's não está necessariamente associada à visão econômica, que obteve melhor pontuação (NAKAJIMA et al., 2007).

É preciso considerar nessa avaliação, outros diversos fatores que influenciaram na qualidade final das URC's (Figura 8, total de pontos), tais como: quantidade de resíduo processada, tipo de estrutura e de processo, número de funcionários, população e geração de resíduo per capita, fatores caracterizados conforme resultado obtido na fase anterior, sendo o somatório dos pontos obtidos para cada unidade apresentada na Figura 9.

Por exemplo, o município de São José dos Campos é de grande porte, com geração de resíduo per capita 0,93 kg.hab-1.dia-1 e IPRS - Índice Paulista de Responsabilidade Social - 1 (SILVA et al., 2004, 2009), indicando características socioeconômicas e culturais diferenciadas em relação aos demais municípios. Todos esses fatores também exercem influência na qualidade e na classificação neste trabalho. Um aspecto mais sensível na metodologia da análise multicritério é a atribuição de pesos ou prioridades. Segundo os autores, os pesos desempenham

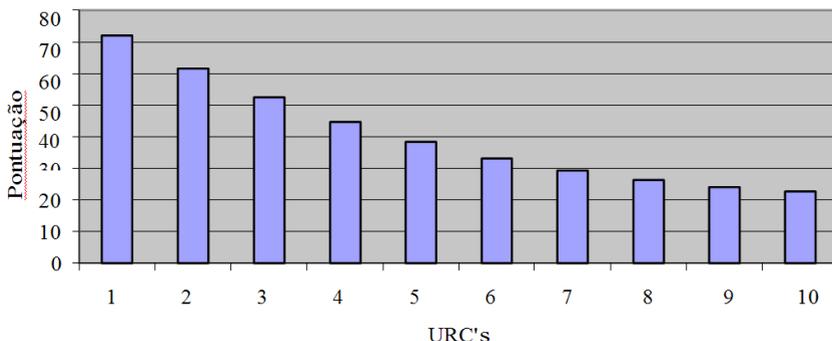
um papel importante nos resultados finais do processo de avaliação, mas nenhuma dúvida é levantada contra os pesos definidos pelos tomadores de decisão, desde que o princípio simples de ter um tomador de decisão em cada domínio reduz o risco de possíveis vícios ou tendências.



**Figura 8.** Resultado da avaliação das dez unidades de reciclagem e compostagem (URCs) paulista pelos decisores locais.

Fonte: Nakajima et al. (2007).

### Pontuação Final das URC's



**Figura 9.** Resultado de somatório de pontuação das unidades de reciclagem e compostagem (URCs) paulistas.

Fonte: Nakajima et al. (2007).

## Considerações Finais

As técnicas apresentadas para avaliação operacional, análise de desempenho e suficiência relativa de processos de compostagem em unidades de reciclagem e compostagem (URC) em operação no estado de São Paulo, partindo-se três estudos de casos, contribuíram para a política pública (Lei nº 12.305/10 – PNRS e a Política Estadual de Resíduos Sólidos do estado de São Paulo - PERS). No primeiro caso traz uma visão integrada de gestão de resíduos sólido urbano (incluindo a compostagem) e a agricultura de proximidade, utilizando-se de modelagem e sistema especialista validada junto URC de São José dos Campos (Urbam), a qual se conclui ser válida e eficiente no controle operacional e ambiental dos processos envolvidos no seu gerenciamento.

No segundo caso, avaliaram-se sistemas de compostagem e reciclagem (URC) considerando-se a qualidade de composto e a infraestrutura local do tratamento do resíduo urbano domiciliar que se conclui ser um aprimoramento na avaliação do URC e considerando a possibilidade de haver externalidade que um “composto” mal maturado (qualidade do produto) poderia impactar o ambiente agrícola.

O produto final da compostagem deve ser um material estabilizado e seguro para o uso na agricultura. Vale ressaltar que a compostagem só se propõe a tratar resíduos orgânicos e que os sistemas existentes não visam gerar lucros financeiros para a agricultura, na venda de fertilizante orgânico e, sim, reduzir o problema da sobrecarga de aterros e oferecer segurança ambiental e social à população, aumentando o seu tempo de vida útil. Portanto, a garantia mínima do cumprimento de normas de qualidade para o composto do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) leva, com certeza, a um aumento da confiança dos consumidores no produto final e aumenta as possibilidades de diversificação das suas aplicações.

A questão gerencial das unidades é chave para o sucesso desse empreendimento. Porque há URCs com o mesmo tipo de processo que apresentam diferentes qualidades do composto devido a diversos fatores, como infraestrutura deficiente; utilização de equipamentos importados não condizentes com a realidade do resíduo brasileiro; alta manutenção de equipamentos e peças; processos de triagem inadequados e falta de treinamento de pessoal.

As URC's com maior pontuação são as do grupo que utilizam peneiras rotatórias em seu processo, exceto a unidade de Presidente Bernardes. Dentre as visões, nota-se que a econômica é que apresenta a menor disparidade entre as URC's. A aquisição de peneiras rotatórias ao processo é um investimento fundamental para o sucesso do empreendimento sustentável (SILVA et al., 2009).

O método atual de avaliação baseado no IQC aplicado pela Cetesb, não é suficiente para avaliar sistematicamente o desempenho das unidades em qualidade do produto, mas garante a segurança ambiental local. Por outro lado, não considera, suficientemente, os parâmetros de qualidade essenciais para evitar a externalidade do produto (composto tipo C) no ambiente externo ao ser incorporado à lavoura, o que pode ser resolvido pela adoção de um Índice de Adequação do Composto para a Agricultura (IACA), complementar. Deste modo, a utilização do composto de resíduos sólidos domiciliares, poderá garantir a segurança agrícola por ter um produto de boa qualidade e com baixo risco de causar impactos ambientais para área agrícola de aplicação. Tal IQC

mostrou-se uma avaliação objetiva para saneamento ambiental e limitada, a pontuação pelos técnicos apresentou um comportamento diferente quanto à avaliação pela análise multicritério, mesmo pela visão de critérios técnicos econômicos.

No último caso, a análise multicritério foi uma abordagem válida para ampliar o entendimento dos processos das URC's, por tratar-se da seleção de indicadores: técnico-econômicos (13), sociais (10) e ecológicos (12), considerando outros aspectos envolvidos no sistema, como qualidade do composto de lixo para o uso na agricultura e os aspectos socioambientais. Dessas três dimensões da autossuficiência, foi encontrado um valor final, indicando qual o processo "mais ajustado" entre as alternativas apresentadas, mas demonstra-se com clareza que indicadores sociais e ecológicos são sensíveis a mensurar a atuação do gestor de unidade de compostagem.

## **Agradecimentos**

Aos nossos ex-estudantes da Unicamp e ex-bolsistas colaboradores que atuaram no projeto, Giancarlo T. Nakajima, Agnaldo Janot Mendes Filho, Daniel Mendes, Renato Silva de Deus, Rogério Guedes e Taciana Figueiredo Gomes, entre outros, trabalhando em parte das avaliações e desenvolvimento dos estudos de casos.

Às unidades de reciclagem e compostagem que apoiaram a iniciativa e às instituições: Instituto Agrônomo (IAC), Campinas, Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Federação Escola de Sociologia e Política de São Paulo (FESPSP), Universidade de Taubaté (Unitau) e parceiros de pesquisa, por caminhar juntos no desenvolvimento da pesquisa.

## Referências

ABREU JUNIOR, C. H.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Utilização agrícola de composto de lixo. In: SILVA, F. C.; RODRIGUES, M. S.; BARREIRA, L. P.; PIRES, A. M. M. (Org.). **Gestão pública de resíduo sólido urbano: compostagem e interface agrícola**. Botucatu: FEPAF, 2009. p. 123-140. Cap. 7.

ABREU JUNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 4, p. 391-479, 2005.

ABREU JUNIOR, C. H.; BASSO, A. C.; CHITOLINA, J. C.; SILVA, F. C. da; BORALLI, K. Caracterização de compostos de resíduos sólidos urbanos orgânicos de unidades de reciclagem e compostagem dos municípios de São Paulo e de São José dos Campos. **Holos Environment**, v. 12, p. 225-240, 2012.

ALMEIDA, M. L. O. d'; PASCHOALINO, A.; MILANI, I.; ZIGLIO, L.; ADEODATO, S. (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 3. ed. São Paulo, Cempre, 2010. 350 p. il.

ANÁLISE das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de

resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboação dos Guararapes: UFPE, 2014. 184 p.

ANDRADE, J. M. F. **A importância da usina de compostagem de São José do Rio Preto**. 2010. Disponível em: <<http://www.ecoharmonia.com/2012/11/a-importancia-da-usina-de-compostagem.html>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do Estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. 190 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BARREIRA, L. P.; PHILIPPI JUNIOR, A.; RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 385-393, out./dez. 2006.

BALLESTERO, S. D.; SILVA, F. C. da; FORTES NETO, P.; FORTES, N. L. P. **Avaliação o composto de lixo urbano para uso agrícola: índice de produção de CO<sub>2</sub> e maturidade**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2000. 27 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Relatório técnico, 9).

BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S. Potencial agrícola do composto de lixo urbano no estado de São Paulo. **Agrônomo**, v. 43, p. 87-93, 1991.

BIZAGI. **Plataforma digital de negócios**. [2017]. Disponível em: <<http://www.bizagi.com/pt>>. Acesso em: 5 abr. 2017.

BRASIL. Instrução Normativa SDA Nº 27, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre a importação ou comercialização, para produção, de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, v. 143, n. 110, p. 15-16, 9 de jun. de 2006.

BRASIL. Instrução Normativa SDA N° 28, de 27 de julho de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-Minerais e Corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 jul. 2007b. Seção 1, p. 11.

BRASIL. Instrução Normativa SDA N° 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 de jul. de 2009. Seção 1, p. 20.

BRASIL. Lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 de ago. de 2010a. p. 2.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília, DF, 2007a. 141 p.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília, DF: MMA, 2010b. 69 p.

CHITOLINA, J. C. ; SILVA, F. C.; BARBIERI, V. Extração sequencial e especiação de metais pesados no decorrer do processo de compostagem de resíduos sólidos domiciliares. **Holos Environment**, v. 12, p. 99-106, 2012.

CETESB (São Paulo). **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares**: relatório 2003. São Paulo, 2004. 44 p.

CETESB (São Paulo). **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares**, 2006. São Paulo, 2007. 83 p. (Relatórios).

CETESB (São Paulo). **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares**. São Paulo, 2010. 186 p.

CETESB (São Paulo). **Inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do estado de São Paulo:** comunicação estadual. São Paulo, 2011. 192 p. Relatórios.

CETESB (São Paulo). **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2013.** São Paulo, 2014. 118 p. (Série relatórios).

CRAVO, M. S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M. F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n, p. 3, 547-553, 1998.

DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento de lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 88-93, 1995.

DEUS, R. da S. de; SANTOS, A. D. dos; SILVA, F. C. da. Especificação de requisitos do sistema inteligente para diagnóstico, recomendação de uso e monitoramento de composto de lixo urbano em agricultura. In: ENVIRONMENTAL AND HEALTH WORLD CONGRESS, 2006, Santos. **Natural resources for the health of future generations.** Santos: [s.n.], 2006. p. 458-461. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19202/1/107.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

EGREJA FILHO, F. B.; REIS, E. L.; JORDÃO, C. P.; PEREIRA NETO, J. T. Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano. **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 324-328, 1999.

FEHR, M. A successful pilot project of decentralized household waste management in Brazil. **The Environmentalist**, v. 26, n. 1, p. 21-29, Mar. 2006.

FORTES NETO, P. I.; SILVA, F. C. da; FORTES, N. L. P.; BALESTEIRO, S. D. Quantificação da liberação de C-CO<sub>2</sub> e relação C/N durante a compostagem de lixo. **Holos Environment**, v. 13, p. 9-23, 2013.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**: 2008. Rio de Janeiro, 2010. 219 p.

IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**. Relatório de pesquisa. Brasília, 2012. 82 p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Ceres, 1985. 492 p.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 182 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

NAKAJIMA, G. T.; SILVA, F. C. da; MIRANDA, J. I. Avaliação de processos de compostagem em URC'S paulistas pela análise multicritério. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND COMPUTER EDUCATION, 2007, Santos. **Proceedings...** [S.l]: Council of Researches in Education and Sciences, 2007. p. 475-479. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19195/1/102.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

NAKAJIMA, G. T.; SILVA, F. C. da; MENDES FILHO, A. J.; GUEDES, R. E. Avaliação de unidades de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos do Estado de São Paulo. In: ENVIRONMENTAL AND HEALTH WORLD CONGRESS, 2006, Santos. **Natural resources for the health of future generations**. Santos: [S.n.], 2006. p. 558-560. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19196/1/131.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

PANORAMA dos resíduos sólidos no Brasil. 2013. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2014. 112 p.

SANTOS, A. D. dos; NAKAJIMA, G. T.; DEUS, R. S. da; SILVA, F. C. da; RODRIGUES, L. H. A. Sistemas de informação aplicados e gestão de resíduo sólido urbano. In: SILVA, F. C. da; PIRES, A. M. M.;

RODRIGUES, M. S.; BARREIRA, L. P. (Org.). **Gestão pública de resíduo sólido urbano**: compostagem e interface agro-florestal, Botucatu: FEPAF, 2009. p.167-202.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual Nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, v. 51, p. 2-4, 17 mar. Seção 1 Disponível em: <[http://www.saneamento.sp.gov.br/Arquivos/Decretos/Arquivo%203%20-%20Politica%20estadual%20de%20ORS%20-%202006\\_Lei\\_12300.pdf](http://www.saneamento.sp.gov.br/Arquivos/Decretos/Arquivo%203%20-%20Politica%20estadual%20de%20ORS%20-%202006_Lei_12300.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2016.

SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas em solos plantas e fertilizantes**. 2 ed. ampl. rev. Brasília, DF: Embrapa, 2009. 624 p.

SILVA, F. C. da; BERGAMASCO, A; VENDITE, L. Modelos de transferência de metal pesado na cana-de-açúcar adubada com composto de lixo urbano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.119-128, jan./abr. 2007a.

SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J. C.; NAKAJIMA, G. T. Especificação de metais pesados em solo tratado com composto de lixo urbano. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND COMPUTER EDUCATION, 2007, Santos. **Proceedings...** [S.l]: Council of Researches in Education and Sciences, 2007b, p. 480-483. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19194/1/103.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

SILVA, F. C. da; SILVA, C. A.; BERGAMASCO, A. F.; RAMALHO, A. L. Disponibilidade de micronutrientes em cinco solos em função do tempo de incubação de um composto de lixo urbano. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 224-234, jan./abr. 2006a.

SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J. C.; LUPINACCI, A. V.; GOMES, T. F. Avaliação de formas de cádmio, níquel e chumbo durante o processo de compostagem. In: ENVIRONMENTAL AND HEALTH WORLD

CONGRESS, 2006, Santos. **Natural resources for the health of future generations**. Santos: [s.n.], 2006b. p. 614-616. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19198/1/104.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J. C.; BARIONI, L. G.; CASTRO, A. Evaluation of bioavailability of heavy metals in urban waste in solid for extractors in Brazil. In: INTERNATIONAL ORBIT CONFERENCE, 7., 2010, Heraklion Crete. **Organic Resources in the Carbon Economy: proceedings...** Thessaloniki, Greece: Grafima, 2010a. p. 1247-1255.

SILVA, F. C. da; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D.; BARIONI, L. G. Establishment of recommendations and parameters for use of urban waste compost in agriculture in the state of Sao Paulo – Brazil. In:INTERNATIONAL ORBIT CONFERENCE, 7., 2010, Heraklion Crete. **Organic Resources in the Carbon Economy: proceedings...** Thessaloniki, Greece: Grafima, 2010b. p. 1246. Poster.

SILVA, F. C. da; PIRES, A. M. M.; RODRIGUES, M. S.; BARREIRA, L. P. **Gestão pública de resíduo sólido urbano: compostagem e interface agro-florestal**, Botucatu: FEPAF, 2009. 204 p.

SILVA, F. C. da; COSTA, F. O. da; ZUTIN, R.; RODRIGUES, L. H.; BERTON, R. S.; SILVA, A. E. A. **Sistema especialista para aplicação do composto de lixo urbano na agricultura**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002a. 40 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documento, 22).

SILVA, F. C. da; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D. **Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002b. (Embrapa Informática Agropecuária. Circular técnica, 3).

SILVA, F. C. da; GOMES, P. C.; CALDEIRA, C. V.; BERGAMASCO, A. F. . Transferência de metal pesado no sistema solo-cana sob adubação

de composto de lixo urbano enriquecido: estudo em vasos. **Revista STAB**, v. 21, p. 12-15, 2002c.

SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J. C. ; BARBIERI, V. Especificação de metais traço em solo tratado com composto de lixo urbano. **Holos Environment**, v. 13, p. 1-8, 2013.

SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D.; VOIGTEL, S. D. S.; MELO, J. R. B. Processos de produção de composto de lixo e a sua qualidade como fertilizante orgânico. **Holos Enviroment**, v. 5, n. 2, p.121-136, 2004.

SILVA, F. C. da ; SILVA, C. A. ; BERGAMASCO, A. F. ; RAMALHO, A. L. Efeito do período e de doses de composto de lixo urbano na disponibilidade de metais pesados em diferentes solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 403-412, mar. 2003.

SIRCLUA. 2003. Disponível em: <[https://www.e-science.unicamp.br/sisda/projetos/projetos\\_projcompleto.php?id\\_projeto=218](https://www.e-science.unicamp.br/sisda/projetos/projetos_projcompleto.php?id_projeto=218)>. Acesso em: 16 nov. 2016.

VASCONCELOS, Y. "O melhor do lixo" - Software e nova metodologia de análise indicam a qualidade do composto orgânico usado como adubo. **Pesquisa Fapesp**, n. 91, p. 75-81, set. 2003.



---

*Informática Agropecuária*

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



CGPE 14074