

## USO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS: CONTROLE AMBIENTAL E INFORMATIZAÇÃO

Fábio Cesar da Silva<sup>1</sup>; Luiz Henrique Antunes Rodrigues<sup>2</sup>; Adriana Delfino dos Santos<sup>3</sup>  
& Ronaldo Severiano Berton<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pesquisador III da Embrapa Informática Agropecuária e Professor em Tecnologia em Saneamento Ambiental na Unicamp/CESET, Av. André Tosello, 209 - Barão Geraldo, Caixa Postal – 6041, 3083-886 – Campinas, SP. Email: [fcesar@cnptia.embrapa.br](mailto:fcesar@cnptia.embrapa.br); <sup>2</sup> Professor da FEAGRI/UNICAMP.; <sup>3</sup> Pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas – SP. <sup>4</sup> Pesquisador do IAC, Campinas SP.

### 1. RESUMO

Neste texto foram discutidos os requisitos para a utilização de recursos públicos no gerenciamento de resíduos urbanos nos municípios, com ênfase na utilização da compostagem de resíduos orgânicos como ferramenta de gestão de resíduos no âmbito municipal, a partir das potencialidades desta técnica, face à predominância da parcela orgânica na composição dos resíduos brasileiros e às características agrícolas do país. Destaca-se que tal adoção necessita de um controle informatizado e padrões da qualidade do composto e das recomendações para solos agrícolas para eliminar riscos à saúde da população, contaminação de alimentos com metais pesados, patógenos e outros elementos perniciosos e o risco da sua acumulação na cadeia trófica. A compostagem realizada de maneira correta apresenta ganhos reais à sociedade e benefícios incontestáveis para o gerenciamento público do lixo urbano.

## **2. INTRODUÇÃO**

A questão pública começa já na própria concepção do “lixo”, como um material inútil resultante das diversas atividades, mero subproduto do sistema produtivo. A população em geral, preocupa-se em livrar-se desse material descartando-o inadequadamente em locais desprovidos dos mínimos cuidados ambientais. O “resíduo sólido”, no conceito moderno é um composto que pode ser potencialmente responsável por graves problemas de degradação ambiental, mas que possui valores econômicos agregado, podendo ser aproveitado no próprio processo produtivo e que permite agregar mão de obra excluída nessa reciclagem.

No Brasil, onde não há uma legislação para o tratamento e descartes dos resíduos sólidos são geradas 229 mil toneladas de lixo por dia, sendo que 60% não tem um destino adequado e a metade desta fração é orgânica, provocando graves impactos ao ambiente e à saúde pública. Hoje, o gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos é uma questão crítica que preocupa as administrações públicas municipais, as quais preconizam a adoção de sistemas descentralizados, dentro de um planejamento integrado, e dá ênfase às ações de minimização para solucionar o problema.

Uma das principais ações diz respeito à maximização da reciclagem e ao reaproveitamento desses resíduos. Além disso, reflexos sociais e econômicos como a falta de espaço e de verbas para a construção de novos aterros tem contribuído para despertar o interesse do setor público em busca de alternativas economicamente sustentáveis.

A palestra tem como foco, discutir os problemas relacionados aos resíduos sólidos que têm se avolumado nas sociedades contemporâneas, de forma diretamente proporcional aos anseios da sociedade, a qual exige maior produção de alimentos e de bens de consumo direto.

Até bem pouco tempo, as propostas para o equacionamento das questões dos resíduos sólidos eram estritamente técnico-científicas e voltadas à sua destinação final. O crescente conhecimento das implicações do aumento do volume de resíduos sólidos, os problemas decorrentes do manejo, tratamento e disposição destes ao meio ambiente, aliado ao esgotamento de matérias-primas e fontes de energia, além do engajamento da sociedade organizada, tem aumentado a consciência ambiental, o que acaba refletindo na necessidade de mudança no gestor público a fim de resolver o problema.

A gestão pública dos resíduos usando a compostagem do lixo como solução, deve responder as questões básicas do seu uso na agricultura: (a) o sistema de tratamento produz uma quantidade de composto que pode ser vendida durante todo o ano e existem áreas agrícolas para recebê-los? ; (b) os agricultores estão satisfeitos com o produto comercializado e com isso, promovem seu uso para outros, repetidamente, expandindo o mercado? ; (c) no uso agrícola de composto, é tomado os cuidados de proteção ambiental? Se a resposta para estas três perguntas for sim, pode ser dito que o sistema funciona bem, independente do seu gestor.

O segundo foco é que gestor público moderno requer informações técnicas adequadas e condições estruturais compatíveis para o manejo, tratamento e disposição dos resíduos do município, sendo que estas totalmente disponíveis para as instituições que possuem problemas de tal natureza. Deste modo, há diversos sistemas disponíveis, desde a 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 para a construção de aterros sanitários (Weber & Hasenack, 2003<sup>1</sup>), passando por softwares que procedem a análise da viabilidade econômica da implantação de uma usina de compostagem (Software RECICLON), até sistemas para avaliar a qualidade do composto de lixo e

---

<sup>1</sup> Documento No. 022/02 da Embrapa - Sistema especialista para aplicação do composto de lixo urbano na agricultura – site: <http://www.cnptia.embrapa.br/publica/2002/doc22.pdf>

recomendar o seu uso na agricultura (Software SIRCLUA – Silva et al, 2002<sup>2</sup>). No entanto, a política nacional de resíduos será o mecanismo adotado para os meios econômicos adequados a serem seguidos.

Um outro fator importante que aumenta as dificuldades dos municípios é a falta de uma legislação a fim de promover uma regulamentação, sob a responsabilidade do poder municipal cabendo ao mesmo um eficiente e adequado desempenho de coleta, transporte e, principalmente, a disposição final do resíduo. Para adotar medidas que contribuam ao correto tratamento dos resíduos sólidos, faz-se necessário um gerenciamento de forma integrada. Para que isto ocorra, o conhecimento sistêmico do problema permite vislumbrar alternativas para sua gestão, as quais demandam um comportamento diferente dos setores públicos, produtivos e de consumo.

### **3. OS MODELOS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

A política de gestão de resíduos sólidos inclui a coleta, tratamento e a disposição adequada de todos os subprodutos e produtos finais do sistema econômico, tanto no que se refere ao lixo convencional como ao lixo tóxico. Atualmente, há consenso de que, além disso, essa política deve também atuar de forma a garantir que os resíduos sejam produzidos em menor quantidade nas fontes geradoras.

Os novos objetivos e princípios da política ambiental e, conseqüentemente, o estabelecimento de novas prioridades da gestão de resíduos sólidos em nível internacional implica numa mudança radical nos processos de coleta e disposição de resíduos. Dentre os princípios que devem ser levados em conta na

---

<sup>2</sup> Documento No. 022/02 da Embrapa - Sistema especialista para aplicação do composto de lixo urbano na agricultura – site: <http://www.cnptia.embrapa.br/publica/2002/doc22.pdf>

política pública de resíduos, destacam-se dois: a) o princípio da informação, a população tem o direito de possuir informação sobre o potencial impacto dos produtos, serviços sobre o meio ambiente e a saúde pública e também Informação sobre os ciclos de vida e etapas dos produtos; b) o princípio da prevenção, optando-se pelas soluções de redução, reutilização e reciclagem das formas de disposição final. Neste caso a compostagem pode representar uma opção viável, desde que se adote uma regulamentação específica para que o composto do lixo urbano produzido possa ser utilizado sem colocar em risco à saúde humana e o meio ambiente.

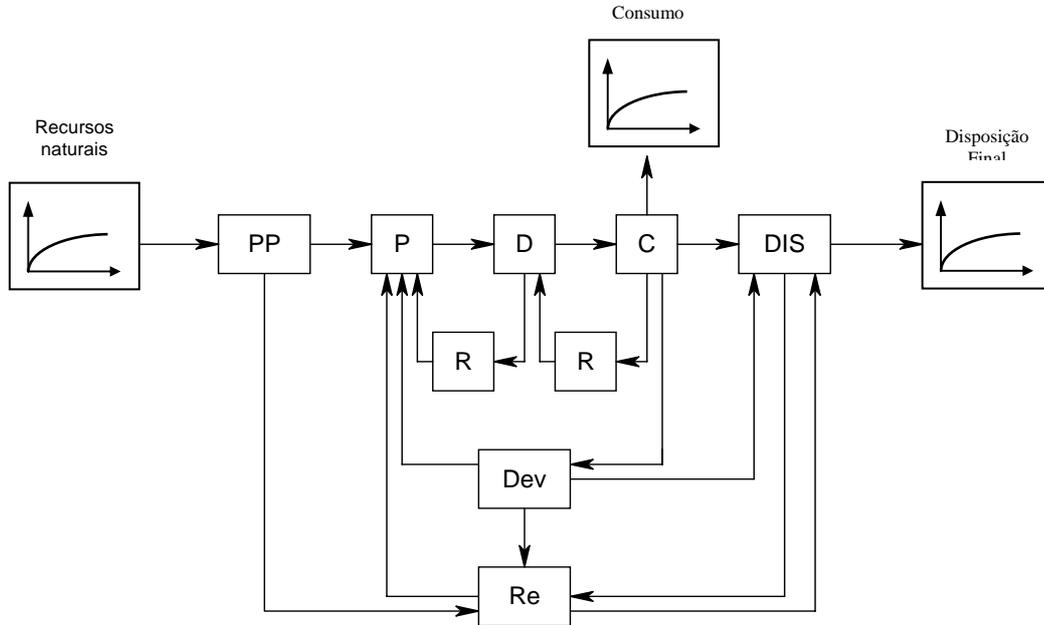
Em contraposição aos antigos sistemas de tratamento desses resíduos, que tinham como prioridade a disposição destes, sejam dispostos em aterros ou lixões (“livrar se do lixo”) e mais recentemente as coletas seletivas, contemplando uma reciclagem parcial da fração seca desse material, com enfoque no retorno econômico.

A coleta seletiva é importante na gestão municipal e também requer um aprimoramento. De acordo com os dados da associação Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre), os recicláveis que vão para a indústria correspondem a 80% do alumínio, 75% do plástico, 40% do papel e 17% do vidro produzido.

Deve-se destacar que o material reciclável representa entre 15% a 20% do lixo produzido no Brasil. Atualmente, devem ter como prioridade um *ecological cycle management* (Figura 1), o que significa a montagem de um sistema circular, onde a quantidade de resíduos a serem reaproveitados dentro do sistema produtivo seja cada vez maior e a quantidade a ser disposta, menor.

O gerenciamento sustentável dos resíduos sólidos pressupõe a redução da carga destinada aos aterros, especialmente pela compostagem da fração orgânica. A compostagem da fração orgânica é um processo biológico, no qual os resíduos putrescíveis vão se degradando e se estabilizando em um novo produto com características físicas, química e biológica distintas dos resíduos iniciais. Esse processo pode ser acelerado nas usinas de compostagem, onde o produto final

denomina-se composto, cujo produto resultante é uma substância escura, uniforme e estabilizada a sua fração orgânica, com aspecto de massa amorfa, rico em partículas coloidais, que lembra ao "húmus" e que pode ser utilizado na agricultura, mas requer um controle dos valores máximos de metais pesados e patogênicos.



**Figura 1.** Modelo de gestão de resíduos sólidos adaptados às novas prioridades da política ambiental <sup>3</sup> (Demajorovic, 1995).

#### 4. USO DE COMPOSTO DE LIXO NA AGRICULTURA: UMA BREVE ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO INTERNACIONAL

No mundo inteiro o foco da questão ligado a compostagem, inicia-se em ações integrada que começa com uma preocupação com os custos relativos ao tratamento da compostagem, o manejo dos recursos públicos aplicado ao saneamento

<sup>3</sup> DEV – devolução, RE – reutilização, R – reciclagem.

ambiental e a necessidade de legislação reguladora para administração de seu destino final.

Existem vários países que encorajaram compostagem na gestão dos resíduos sólidos, que são a Áustria, Bélgica, Alemanha e o Holanda. O uso da compostagem vai desde simples estabilização e da redução do volume da fração orgânica para disposição em aterros até uma diversidade de aplicações em grandes volumes. Hoje, o avanço do processo de compostagem é tão importante quanto a qualidade requerida pelo mercado consumidor, assim como, desenvolver mercados para seu uso, onde cada país possui um padrão controlado de qualidade do composto aceito para ser aplicado na agricultura, que é apoiado através de sistemas para garantia de qualidade.

A organização da União Européia, mostrou claramente a fragilidade da legislação do Reino Unido o qual recusou-se a adotar a nova legislação e não tem seus próprios padrões.

A filosofia européia é fundamentada no princípio da precaução, que induz a melhoria nos projetos de produção de compostos, e de melhor qualidade que vem a garantir a sua comercialização.

A questão da diluição de outros resíduos é possível em alguns países, mas deve ser tratado separadamente da produção, considerando-se as referências e parâmetros das classes específicas de materiais a serem controlados, em relação ao seu próprio padrão. Na maioria dos países há forte restrição na mistura e exigências específicas na produção dos compostos orgânicos, pela preocupação referente à presença de materiais geneticamente modificados que devem ser excluídos.

Há uma série produtos cuja concentração deve ser limitada nos compostos orgânicos, como os metais pesados, os organismos patogênicos, os poluentes orgânicos (dioxinas, bifenilas policloradas, entre outros), para tanto existem regulamentos relacionados às taxas de aplicação.

Grossi (1993), analisando compostos orgânicos de 16 usinas de compostagem de lixo brasileiras, constatou a presença de dioxinas (dibenzo-*p*-dioxinas policloradas) em concentrações acima do valor aceitável pela legislação alemã em sete delas. Nesse mesmo trabalho, foi observado que a soma das concentrações de seis congêneres de PCBs (bifenilas policloradas) foi superior ao limite de tolerância sugerido pela legislação alemã em apenas uma usina. Uma vez no solo, estas substâncias podem ser degradadas, absorvidas pelas plantas, adsorvidas ou mesmo translocadas no perfil, podendo atingir o lençol freático. Em países que a compostagem está em um estado avançado de tecnologia há uma distinção clara entre o produto de qualidade proveniente da coleta seletiva e um mal gestor público, que colocam materiais derivados municipais misturados com níveis mais altos de contaminação.

Em sistemas de controle de qualidade devem ser fixados níveis de tolerâncias em relação ao valor padrão (i.e., o máximo aceitável e as faixas de variação em relação à média), faixa de tolerância, determinada pela exatidão do padrão, que considera o erro analítico e a de amostragem. Essa tolerância de porcentagem deve ser suficiente para acomodar o erro, o padrão deve ser mais restritivo.

No caso do Brasil, a tendência seria avaliar o produto passível de registro no MAPA, o lodo de esgoto Classe A. O lodo Classe B poderia ter seu uso regulamentado pelo CONAMA e poderia ser comercializado mediante autorização do MAPA.

Os valores de metais pesados dos compostos encontrados nas quatro usinas de compostagem (Tabela 1) não permitem que estas se enquadrem nas legislações alemã, suíça e holandesa (Tabela 2), porém estão de acordo com as recomendações das legislações italiana, austríaca e francesa. Isto ocorreu porque a Alemanha, a Suíça e a Holanda não possuem terras agricultáveis disponíveis para a aplicação de resíduos sólidos e um histórico de problemas ambientais, que determinou

a utilização de valores mais restritivos, fundamentados em estudos de balanços iônicos e cujos metais adicionados aos agrossistemas fossem compensados por perdas de igual valor. Na Holanda, além de haver uma lei que limita as quantidades máximas de metais presentes no composto de lixo, há também uma legislação que impede a continuação da aplicação do composto no solo agrícola se a concentração de um determinado metal ultrapassar um valor pré-estabelecido.

Nos Estados Unidos, a Agência Federal de Proteção Ambiental regulamenta as doses máximas de metais em lodo de esgoto e outros produtos provenientes do lixo que podem ser aplicados ao solo. Os limites toleráveis foram determinados com base no conceito de rota de exposição e que podem levar ao enriquecimento de metais em agrossistemas por flexibilizar bastante o uso agrícola. Além disso, uma questão cultural é muito importante, pois é possível reduzir os metais presentes nos compostos de lixo.

Existem vários procedimentos para reduzir metais, como: a adoção de uma coleta seletiva eficiente e no âmbito na usina, o uso de um separador balístico e de um eletroímã no final da esteira de catação.

Na tabela 1, são apresentadas as concentrações de diversos elementos, presentes em diferentes compostos de lixo, relatadas por Grossi (1993), Abreu (1999), Chitolina et al (2001) e Silva et al. (2002). Estes trabalhos descreveram as médias e as amplitudes dos valores centrais de análise de mais de 50 amostras de compostos provenientes das usinas São Mateus, Santo André e Vila Leopoldina da cidade de São Paulo-SP e de São José dos Campos-SP. Foi observado que os compostos de lixo possuem um pH em água ótimo (6,5 a 8,0), quantidades de P (0,2 a 1,4%) e de Ca (1,2 a 6,0%) classificados entre o nível médio e alto para todos os compostos analisados. Entretanto, os valores de N (0,5 a 1,4%), Mg (0,3 a 0,7%) e K (0,3 a 2,0%) apresentaram-se no nível indesejável, baixo e médio respectivamente, para os compostos de todas as usinas amostradas. Isto leva a supor que a primeira resposta à aplicação do composto poderia ser em relação ao P, em menor frequência

ao potássio e à correção da saturação por bases. O composto de lixo também possui vários micronutrientes, como Zn, Mn e Cu (Tabela 1), que podem ser liberados para as plantas após mineralização e solubilização, reduzindo ou mesmo substituindo o uso de fertilizante. No entanto, o composto de má qualidade, isto é, aquele que é produzido a partir de um lixo indevidamente coletado e separado, pode conter outros metais tóxicos como chumbo, cromo, cádmio e níquel, que uma vez adicionados ao solo podem ser absorvidos pela planta, entrando na cadeia alimentar.

Os compostos produzidos nas quatro usinas de compostagem do Estado de São Paulo apresentam teores de matéria orgânica semelhantes, variando de 30 a 49% em função da época de coleta, tanto nos compostos crus como nos maturados (Chitolina et al., 2001).

**Tabela 1.** Teores máximos, mínimos e médios encontrados em compostos de resíduos sólidos urbanos, maturados, em  $\text{mg.kg}^{-1}$ , das usinas de compostagem de paulistanas e paulistas.

Elem.	Unidades de				Outros Autores	
	S. André <sup>1,2</sup>	S. Mateus <sup>1,2,3</sup>	S. José dos Campos <sup>2</sup>	Vila Leopoldina <sup>2</sup>	Grossi (1993)	Cravo (1998)
$\text{g.kg}^{-1}$ MS (variação)						
N	15,0	13,2	11,5	12,5	-	7-14
P	10 (6-11)	9 (4-14)	4 (2-18)	5 (3-10)	-	2-5
K	4 (3-8)	5 (3-6)	6 (3-21)	10 (7-16)	-	3-11
Ca	55 (45-65)	47 (24-63)	29 (12-55)	20 (14-50)	-	20-36
Mg	5 (3-7)	4 (3-6)	6 (2-15)	4 (3-7)	-	2-5
Fe	32 (25-38)	26 (16-38)	15 (13-25)	15 (13-25)	12-23	13-52
Al	23 (20-24)	16 (12-32)	16 (13-37)	20 (18-39)	6-13	11-19
Na	4 (2-10)	4 (2-6)	6 (4-19)	8 (6-17)	-	-
$\text{mg.kg}^{-1}$ MS						
Cd	8,5 (4,6-14,3)	5,2 (3-12,4)	2,6 (0,7-5,0)	1,2-10,1	0,1-0,5	1,0-5,3
Cr	228(141-366)	180 (52-318)	78 (18-122)	65 (33-239)	76-104	29 -168
Cu	284 (163-718)	336 (107-983)	178 (47-607)	210 (187-621)	61-271	45-215
Mn	384 (312-518)	342 (220-466)	165 (58-445)	227 (208-648)	-	153-535
Ni	91 (48-185)	84 (32-1300)	58 (13-123)	38 (27-104)	20-30	11-27
Pb	375 (164-1632)	208 (65 - 411)	110 (1 - 493)	315 (108 - 745)	56-432	92-600
Zn	1260 (590-1556)	1098 (312-1671)	310 (217-764)	379 (170-875)	102-259	111-1006

Fonte: <sup>1</sup>Silva et al. (2002); <sup>2</sup>Chitolina et al. (2002) e <sup>3</sup>Abreu(1999).

O controle de qualidade é necessário para atender a futura legislação sobre o composto, pois este é feito de lixo orgânico, sendo a coleta e a manipulação manual, o qual pode ser problemático. Os produtores de composto precisam de um sistema de garantia de qualidade através do controle de qualidade interno, que poderia ser exercida pela ABISOLO, além disso, a sua ação externa continuada poderia unificar a produção de composto para satisfazer os padrões de qualidade e até conferir selos de qualidade aos produtos. Deste modo, o composto poderia ser considerado um produto com qualidade e ser vendido como um produto útil a agricultura, e não como um mero resíduos sólidos. Os sistemas de controle de qualidade parecem ter representado no mundo, um papel importante para assegurar um marketing positivo de produtos de composto de qualidade em muitos países.

Silva et al. (2002), sugere a utilização das legislações Austríaca e da Austrália como padrão, cujos valores estabelecidos aplicam-se bem a nossa realidade, exceto para o Pb, que foi inserido na proposta do Ministério da Agricultura – MAPA.

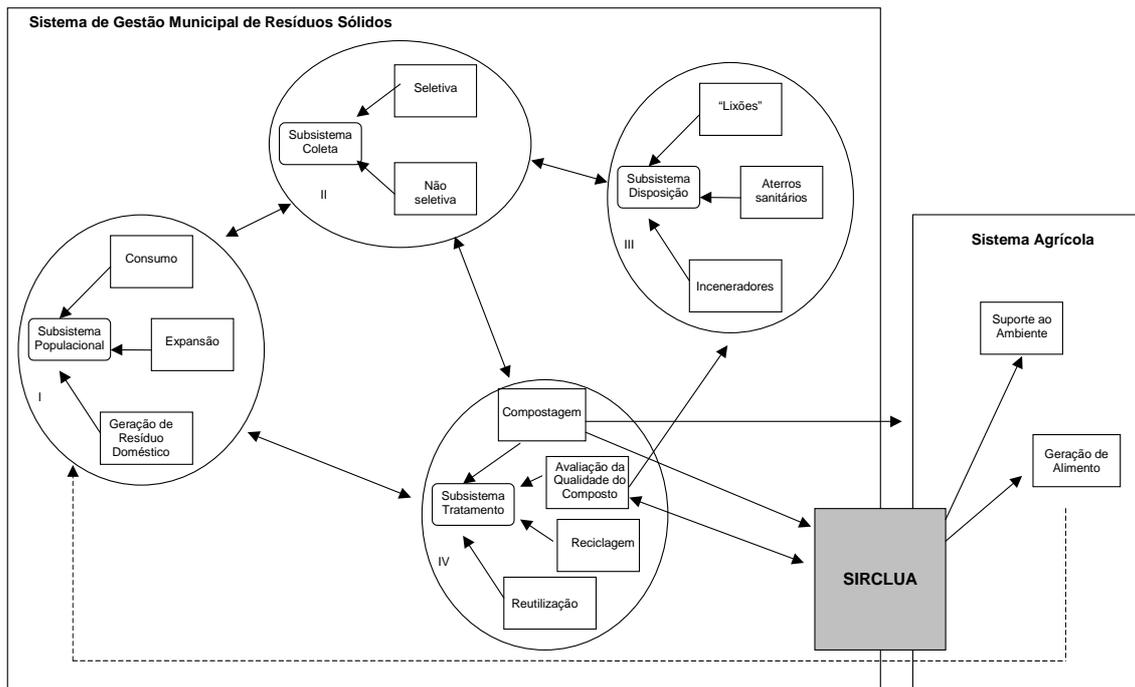
**Tabela 2.** Teores permissíveis de metais pesados ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) no composto de lixo urbano em alguns países da Europa e Estados Unidos.

País	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Hg
Alemanha <sup>(1)</sup>	150	100	400	100	50	1,5	1
Estados Unidos <sup>(2)</sup>	500	500	1000	1000	100	10	5
França <sup>(3)</sup>	800	-	-	-	200	3	8
Austrália <sup>(4)</sup>	200	200	250	400	60	3	1
Áustria <sup>(5)</sup>	120	150	500	70	60	1	0.7
Itália <sup>(6)</sup>	500	600	2500	500	200	10	10
Suíça	150	150	500	-	-	3	3
Holanda <sup>(7)</sup>	100	60	200	50	20	1	0.3
Brasil (*)	150	200	500	200	70	5	1

Fonte: (1) Quality assurance RAL GZ-compost/digestion; (2) EPA CFR40/503 Sludge Rule; (3) NF Compost Urbain; (4) ARMCANZ limits for biosolids; (5) Compost Ordinance : Quality A – agriculture; (6) Limits values for solid organic fraction; (7) compost ordinary e (\*) Proposta do MAPA – junho de 2004.

## 5. GESTÃO MUNICIPAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS: CONTEXTO - SIRCLUA

O sistema de Gestão Municipal de Resíduos Sólidos é composto de quatro subsistemas: Populacional, Coleta, Disposição, Tratamento e Agrícola. Estes subsistemas são representativos de municípios típicos do interior do Estado de São Paulo e, além disso, todos estão inseridos dentro de um contexto sócio-econômico, respeitando a capacidade de suporte ambiental do local. A Figura 2 apresenta um esquema dos subsistemas do sistema de gestão e sua interação com o Sistema Agrícola. Nesta Figura 2, 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. O retângulo cinza representa sistema especialista.



**Figura 2.** Relações interativas acerca dos diferentes subsistemas na gestão pública municipal do lixo.

Neste contexto de gestão de resíduos sólidos, o sistema especialista *SIRCLUA* está inserido no subsistema Tratamento, dando suporte ao processo de

avaliação de qualidade do CLU e integrando o sistema de gestão com o sistema Agrícola, sendo assim, permitido elaborar recomendação de uso agrícola do composto de acordo com as suas características químico-microorgânicas, as características de fertilidade do solo da propriedade rural e o tipo de cultura.

O SIRCLUA deverá alimentar uma base de dados de recomendações de uso agrícola do CLU. Nota-se que qualquer mudança em um dos componentes do sistema levará a uma série de conseqüências e respostas dos demais, tal mecanismo explica porque a qualidade do composto de lixo para a agricultura é reflexa de uma série de fatores diversos, como a coleta seletiva, habito alimentar da população e o tipo de usina de compostagem e reciclagem.

#### Estudo de caso - Sistema Especialista: Compostagem e Agricultura

Atualmente, a recomendação do uso do composto de lixo urbano (CLU) na agricultura no Estado de São Paulo é feita em dosagem única para o tipo de cultura, sem considerar as características do solo, da propriedade rural e da composição do próprio CLU. Existem também lacunas na Legislação sobre orientação de uso desse CLU na agricultura e sobre a definição de critérios para garantir a segurança agroalimentar, ao meio ambiente e a qualidade dos produtos agrícolas. Neste cenário, um grupo de pesquisadores paulistas de várias instituições (Embrapa, IAC, ESALQ/USP e UNITAU) vem atuando, desde 1995, na geração de conhecimentos para o melhor aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos em solos agrícolas. O objetivo da pesquisa foi equilibrar a capacidade de fornecer nutrientes de um composto estabilizado (húmus) no solo, aonde a agricultura vai se desenvolver, e as necessidades para nutrir as plantas, para obter um resultado final com adubação coerente, a produtividade e qualidade dos produtos almejados pelos agricultores. Deste modo, houve uma melhoria das condições físicas e químicas do solo e, associado com adubos minerais, proporciona melhor aproveitamento dos nutrientes, trazendo reflexos na produtividade e qualidade dos produtos finais das lavouras, como foi descrito por Silva et al. (2002).

Todavia, a questão da acumulação de materiais potencialmente tóxicos nas áreas agrícolas pela aplicação do CLU é considerada e fundamenta-se na prevenção de impactos ambientais. Tal questão que pode ser apoiada em sistemas informatizados baseados no conhecimento do especialista humano e disseminada regionalmente a partir da usina de compostagem de lixo.

Esse grupo de pesquisadores desenvolveu uma metodologia para o uso agrícola do composto de lixo urbano (CLU) apoiado em auxílios à pesquisa fornecidos pela Fapesp (Vasconcelos, 2003). Esta metodologia está fundamentada nos processos: tipo de coleta de lixo e maturidade do CLU, fatores de restrição ambiental e manejo agrícola adequado por cultura. Obteve-se resultados experimentais para algumas culturas e os mesmos são agrupados por exigências nutricionais similares como: hortaliças (alface, chicória e rabanete); arroz e feijão; cana-de-açúcar; triticale, milho, mandioca e aveia branca. O conhecimento gerado está registrado em Circular Técnica da Embrapa (Silva et al., 2002).

Para difundir o conhecimento destes pesquisadores de maneira mais eficiente e abrangente, foram utilizadas tecnologias de sistema especialista (SE). O uso de ferramentas computacionais para agregar o conhecimento de especialistas e facilitar a sua difusão não é novidade na agricultura, porém sua adoção ainda é desconhecido sobre o uso agrícola de CLU. A inserção de novos conhecimentos na base é facilitada pelas tecnologias do SE, como, por exemplo, incorporar resultados experimentais de culturas como laranja, eucalipto, roseira, outras hortaliças e cana-de-açúcar.

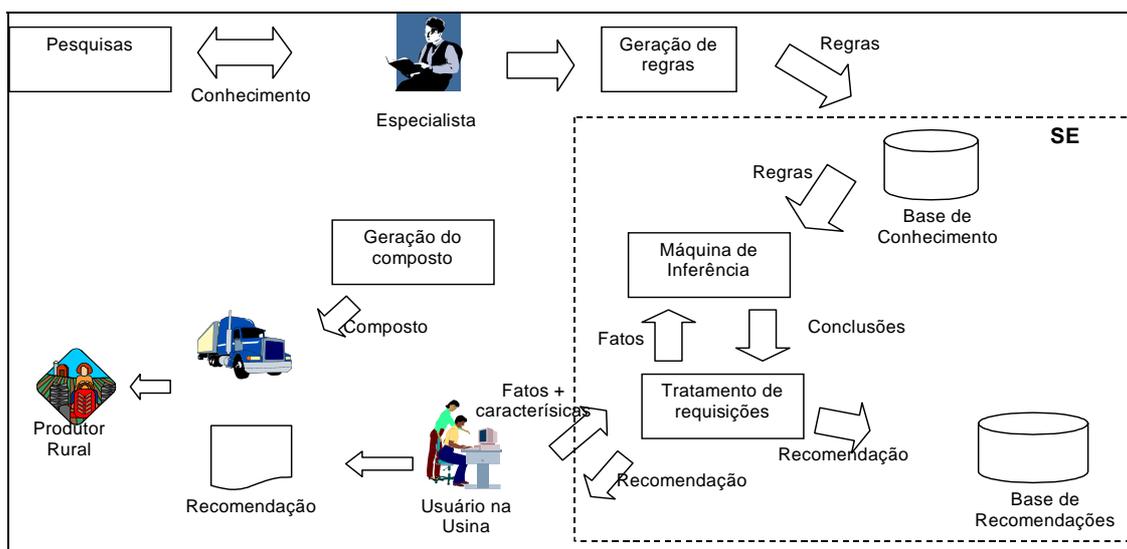
Para tanto, foi construído um protótipo de SE de uso acadêmico, que analisa a adequação do CLU para uso agrícola e se for possível, faz a recomendação de seu manejo na lavoura e para tal, indica a necessidade do estabelecimento de um conjunto de regras que representam o conhecimento dos especialistas, sendo assim, utilizado como base o Comunicado Técnico da Embrapa, a equipe multidisciplinar de Engenharia do Conhecimento, composta por pesquisadores da área de CLU e de

sistemas especialistas, que organizou o conhecimento em forma de regras. Essas regras permitem o diagnóstico da qualidade de lote de CLU a partir de dados de análise físico-químico das amostras coletadas durante o período de maturação e a recomendação de uso agrícola do CLU a partir de dados sobre a composição do solo da propriedade rural, o tipo de cultura e o lote de CLU disponível.

As regras foram extraídas de diversas pesquisas experimentais e de avaliação químico-microbiológica do CLU. Este processo de engenharia gerou a base de conhecimento do protótipo do sistema especialista.

A Figura 3 mostra um esquema com o contexto em que o SIRCLUA está inserido, desde a realização das pesquisas sobre o uso do CLU na agricultura, a sua produção, até a sua análise, recomendação de uso e manejo pelo produtor rural. A linha pontilhada destaca o SIRCLUA. Na parte superior da figura têm-se os especialistas em compostagem de lixo urbano realizando suas pesquisas (retângulo “Pesquisas”) e adquirindo conhecimento. Ele organiza este em forma de regras e alimenta a Base de Conhecimento (retângulo “Geração de regras”). Esta Base de Conhecimento agrega de forma única o conhecimento do grupo de pesquisadores. O usuário deste sistema especialista, por exemplo, um membro do departamento comercial de uma usina de compostagem (representado por “usuário na usina”), fornece as características da propriedade e do produto de um cliente – estas informações são chamadas de fatos. O processo Máquina de Inferência recebe de entrada esses fatos e a Base de Conhecimento. Este processo combina os fatos com a Base de Conhecimento para chegar às conclusões sobre o problema. As conclusões são formatadas em recomendações e então armazenadas em na Base de Recomendações e enviadas para o usuário solicitante (retângulo “Tratamento de requisições”). Esta recomendação será entregue ao Produtor Rural juntamente com o composto que ele comprou. A infra-estrutura de comunicação deste SE é a Internet. O último aspecto é que a funcionalidade e a eficiência de uma unidade de compostagem depende da adequação da escolha do processo e dos equipamentos apropriados para

serem operados pela equipe técnica local, com custos de manutenção compatível e tecnologia dominada ou conhecida; a integração dessa compostagem com o gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios depende do estabelecimento de uma rede organizada de consumidores no ano todo.



**Figura 3.** Contexto do SE da recomendação da aplicação do composto de lixo na Agricultura

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento de lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, SP, v. 35, n. 3, p 88 - 93, 1995
- GALVÃO JUNIOR, A.C. **Aspectos operacionais relacionados com usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil**. São Carlos, SP: USP, 1994. 113 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo / Escola de Engenharia de São Carlos, 1994.

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, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. (Circular Técnica 3).

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.