



**Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola
SCA: Saneamento e Controle Ambiental**

800 - SISTEMA ESPECIALISTA PARA USO AGRÍCOLA DE COMPOSTO DE LIXO URBANO NO ESTADO DE SÃO PAULO

FÁBIO CESAR DA SILVA ¹, FLÁVIO OLIVEIRA DA COSTA ², LUIZ HENRIQUE RODRIGUES ³, RONALDO SEVERIANO BERTON ⁴

¹ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Doutor, Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática Aplicada Agricultura, Campus da Unicamp, Caixa Postal 6041, 13083-886 - Campinas, SP, e-mail: fcesar@cnptia.embrapa.br

² Engenheiro Agrícola, Mestrando em Agricultura Tropical, Instituto Agronômico de Campinas, IAC/APTA, Campinas SP.

³ Engenheiro Agrícola, Prof. Dr. em Engenharia Agrícola - FEAGRI, UNICAMP, Campinas SP.

⁴ Engenheiro Agrônomo, PhD em Ciência do Solo, IAC – Centro de Solos e Rec. Agroambientais, em Campinas SP.

Escrito para apresentação oral no
XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2003
28 de julho a 01 de agosto de 2003, Goiânia - GO

RESUMO: No trabalho apresenta-se um Sistema Especialista (SE) desenvolvido para o uso agrícola do composto de lixo urbano (CLU) para o Estado de São Paulo, que foi concebido para ser instalado em usinas de compostagem, permitindo o controle de qualidade do produto. Em relação às características deste SE, está dotado de conhecimentos para avaliar a qualidade do CLU e recomendar o seu uso na adubação para algumas culturas agrícolas, seguindo critérios e normas desenvolvidas pela equipe da Embrapa Informática Agropecuária/IAC/ESALQ-USP/EEP e UNITAU. Para a aquisição de conhecimento utilizou-se resultados experimentais do grupo (36 ensaios de campo para doses de CLU, análises de estudos de compostagem para definição de parâmetros de monitoramento e testes complementares em casa de vegetação). O sistema é viável para ser implantado em usinas de compostagem de lixo promovendo uma interface sólida entre a usina e os agricultores, oferecendo uma orientação técnica e uma segurança ambiental e sanitária aos agricultores.

PALAVRAS-CHAVE: compostagem, resíduo sólido urbano, sistemas inteligentes

EXPERT SYSTEM FOR USE OF COMPOSED URBAN GARBAGE IN AGRICULTURE FOR THE STATE OF SÃO PAULO

ABSTRACT: This work presents an Expert System (SE) developed for the use of composed urban garbage (CLU) in agriculture for the State of São Paulo. It was conceived to be used in plants of composting, which will allow control quality of the product. Concerning the characteristics of this SE, it incorporates knowledge to evaluate the quality of the CLU and to recommend its use as a fertilizer for some agricultural crops, according to criteria and norms developed by research groups from Embrapa Informática Agropecuária / IAC / ESALQ-USP, EEP and UNITAU. For the knowledge acquisition it was used experimental results obtained by the researchers (36 experiments for doses of CLU, analysis and studies of composting for definition of monitoring parameters and supplementary tests in green house). The system is viable to be implanted at composting garbage plants, which will promote a solid interface between plants of composting and farmers, offering technical orientation and environmental and sanitary safety to farmers.

KEYWORDS: composting, urban solid waste (USW), intelligent system

INTRODUÇÃO: A disposição apropriada dos crescentes volumes de resíduos sólidos produzidos nas cidades brasileiras é um dos principais desafios com que se defrontam as administrações municipais. As práticas usuais de disposição, como os lixões ou os despejos a céu aberto ou mesmo

os aterros controlados, são alternativas que produzem impactos ambientais indesejáveis, além de constituírem, freqüentemente, focos de problemas de saúde pública, através de contaminação das águas subterrâneas e da proliferação de animais e insetos vetores de doenças.

A reciclagem do lixo urbano orgânico (compostagem) é uma das melhores formas para minimizar o acúmulo desse material em lixões ou aterros, que, além de ocupar uma área que poderia ser utilizada para fins mais nobres, não oferece riscos à saúde humana.

O produto derivado do processo de compostagem é chamado Composto de Lixo Urbano (CLU). O emprego na agricultura deste produto constitui-se numa excelente alternativa para reciclagem da fração orgânica desse material, pois de um lado melhora alguns atributos químico, físico e biológico do solo, e de outro, contribui para aliviar a carga poluidora e aumentar a vida útil dos aterros sanitários. No Brasil, ainda não existe legislação específica e tampouco normas orientativas a respeito da aplicação do CLU em solos agrícolas. Os pesquisadores da Embrapa Informática Agropecuária, Instituto Agronômico de Campinas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP), Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP-FUMEP) e Universidade de Taubaté (UNITAU) vêm acumulando dados de pesquisas sob o tema, que permitiu formar uma base de conhecimento.

Sistema especialista é um programa de computador que representa reações e conhecimentos de maneira similar a um especialista humano (JACKSON, 1999), isto é, em uma área muito específica, absorve a experiência de um especialista humano. É uma ferramenta que tem a capacidade de entender o conhecimento sobre esse problema e usar este conhecimento inteligentemente para sugerir alternativas de ação (KUNDEL, 1986), que nesse caso, focou-se no uso agrícola do composto de lixo urbano que apresenta-se possui em sua base de conhecimento dados que englobam a síntese dessas pesquisas (SILVA et al., 2002). Este Sistema Especialista contribuirá para o uso agrícola do CLU no Estado de São Paulo. Existem diversas vantagens do uso de sistemas especialistas.

Destacam-se (OSHIRO, 2000): retenção e maior disponibilidade de conhecimento crítico especializado e experiência de um grupo; informação ágil e passível para disponibilizar em Web; redução de carga de trabalho do especialista em consultas mais triviais ou de maior freqüência; possibilidade de ajuste local.

O sistema especialista está capacitado para analisar e controlar a qualidade do CLU e fazer sua recomendação de sua adubação para as culturas.

MATERIAL E MÉTODOS: Este sistema visa dar suporte ao uso correto do CLU na agricultura, ou seja, processar todo conhecimento existente em relação aos critérios e normas corretos de sua aplicação ao solo e decidir viabilizando ou não sua utilização. O CLU sendo adequado o sistema poderá, então, fazer recomendação de adubação. No desenvolvimento desse SE observou-se as cinco fases (PEREIRA, 1995): definição do problema; aquisição de conhecimento; motor de inferência; implementação e aprendizagem. Na definição do problema: envolveu a compreensão e identificação da características do problema do uso do CLU, estabelecimento do objetivos do processo de solução do problema (duas etapas). Na aquisição de conhecimento: representação e coordenação, onde encontra-se o projeto do motor de inferência, seleção de ferramentas de programação e coordenação do conhecimento. Já o motor ou mecanismo de inferência, que representa a forma de manipular o conhecimento, ou seja, determina a ordem que serão processadas as informações (fluxograma lógico), manipulando os dados a fim de inferir novos fatos, chegar a conclusões ou recomendar ações. Finalmente, a Implementação: a formulação das regras em linguagem CLIPS, englobando o conhecimento. CLIPS (C Language Integrated Production System) é linguagem de programação computacional, para o desenvolvimento de SE, que permite o manuseio de uma dada base de conhecimento que suporta três tipos de programação: do conhecimento da forma de regras; do conhecimento orientado por objetos; do conhecimento utilizado procedimentos do tipo funções e sub-rotinas. (QUEIROZ, 2002). Já a aprendizagem, que pode se dar por dicionário, tomada de recomendação, indução, por analogia e aprendizagem baseada em regras.

O sistema especialista organizado teve a sua base de conhecimento estruturada em duas etapas distintas, como nota-se na figura 1, que seriam:

1ª etapa: avaliar a qualidade do CLU

Nessa fase tem-se como dados de entrada requeridos no sistema especialista: (1) cultura onde será destinada a aplicação do CLU e a (2) análise química do CLU. Esta etapa tem a característica de relatar, em seu final, se o composto está ou não adequado a ser aplicado ao solo. Caso não esteja, serão relatados os motivos que levaram a esta conclusão. Os critérios ou regras utilizados para o sistema especialista fazer a avaliação foram:

- a) Tipo de coleta do lixo: CLU sendo derivado de coleta de lixo, feito de forma não seletiva, será considerado inadequado a ser aplicado ao solo apenas quando a cultura for do grupo das hortaliças e da mandioca; os inertes não devem ultrapassar a 5% do volume do produto final.
- b) Contaminação por patógeno: o sistema especialista adotará o critério pela simples informação do usuário, se o CLU está ou não contaminado. Se tiver qualquer contaminação não utiliza o CLU para hortaliças e mandioca. O usuário, para ter esta informação, precisará ter acesso à análise laboratorial que revelam as quantidades dos seguintes patógenos: coliformes fecais, *salmonella* sp. e helmintos. Caso algum esteja acima do limite estabelecido para agricultura (índices seriam equivalentes ao lodo de esgoto classe A), considera-se o CLU contaminado e destina-se ao aterro.
- c) Avaliação da qualidade do processo de compostagem: o SE inviabilizará a utilização do CLU, por apresentar indícios de falha no processo de compostagem, ele usa dois critérios; primeiro, pelo teor do pH em água misturada com CLU (razão 2:1). Neste caso, se o teor for menor que 6,5; segundo, se a relação carbono/nitrogênio (C/N) for maior que 18 não é adequado (composto 'verde' ou crú).
- d) Limites permissíveis de metais pesados: foram estipulados limites para cada metal pesado. Caso o teor de um metal pesado ultrapasse este limite proposto por SILVA et al. (2002), o sistema especialista considerará o CLU inadequado a ser aplicado ao solo. Os limites estabelecidos foram (mg/kg): Chumbo (Pb): 500; Cobre (Cu): 500; Zinco (Zn): 1.500; Cromo (Cr): 300; Níquel (Ni): 100; Cádmio (Cd): 5 e Mercúrio (Hg): 2.

2ª etapa: calculo da recomendação de adubação com CLU

Os dados de entrada requeridos no sistema especialista nesta etapa seriam: (a) análise química do solo e (b) análise química do CLU. Nesta etapa, caso o usuário queira, o sistema especialista fará recomendação de adubação com o CLU. Após qualificar o CLU como adequado a ser utilizado como adubo para a cultura especificada, o sistema especialista poderá então fazer recomendação de adubação. Esta recomendação poderá ser com base em Potássio (K), Fósforo (P) e/ou Nitrogênio (N), conforme descrito em SILVA et al. (2002), sendo adotado o que apresentar a maior quantidade (toneladas por hectare). Poderá fazer também recomendação de adubação em cobertura e/ou suplementar com adubo químico. As culturas foram agrupadas com necessidades nutricionais semelhantes ou próximas. Como resultado, os grupos de cultura ficaram da seguinte forma, conforme SILVA et al. (2002): hortaliças; arroz irrigado e feijão de verão; cana-de-açúcar; triticale de sequeiro, milho, mandioca e aveia branca.

DISCUSSÃO : A síntese lógica desse sistema especialista observa-se em fluxograma, na figura 1. Os possíveis benefícios desse SE na prática, vem no sentido de suprir parcialmente a carência, pela falta de legislação brasileira, em relação a normas e critérios para se aplicar corretamente o CLU na agricultura; de facilitar o acesso dos usuários do CLU aos conhecimentos de especialistas sobre o uso correto desse produto; rapidez na obtenção de resposta e disponibilizar um guia para o uso agrícola do CLU; usar a dosagem correta na aplicação do CLU em adubação e sem oferecer risco ambiental; qualidade e consistência na tomada de decisão sobre o uso do CLU; aumento na demanda de uso do CLU, em consequência da facilidade de acesso pelo usuário aos conhecimentos sobre seu uso correto e de dispor de técnicos de instituição de pesquisa e ensino que possam apoiá-lo ou servir de referência; sistema computacional interativo com o usuário através de linguagem natural.

CONCLUSÕES: esse sistema especialista é útil no apoio ao controle de qualidade do CLU no âmbito das usinas, que informa tecnicamente o agricultor e oferece a garantia de uma qualidade mínima do produto recebido. Será uma ferramenta valiosa pelo fato de não existir legislação no Brasil sobre critérios para aplicação correta do CLU no solo. A base de conhecimento deste programa contém, em síntese, vários resultados de pesquisas de especialistas da área. Esse programa facilita a disseminação desses conhecimentos, permitindo uma validação dessa sistemática para uso

agrícola do CLU à nível regional, contribuindo na solução do problema que o lixo urbano causa ao ambiente e ao homem.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro ao trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JACKSON, Peter. "Introduction to Expert Systems". Addison-Wesley. Second Edition. 1999.

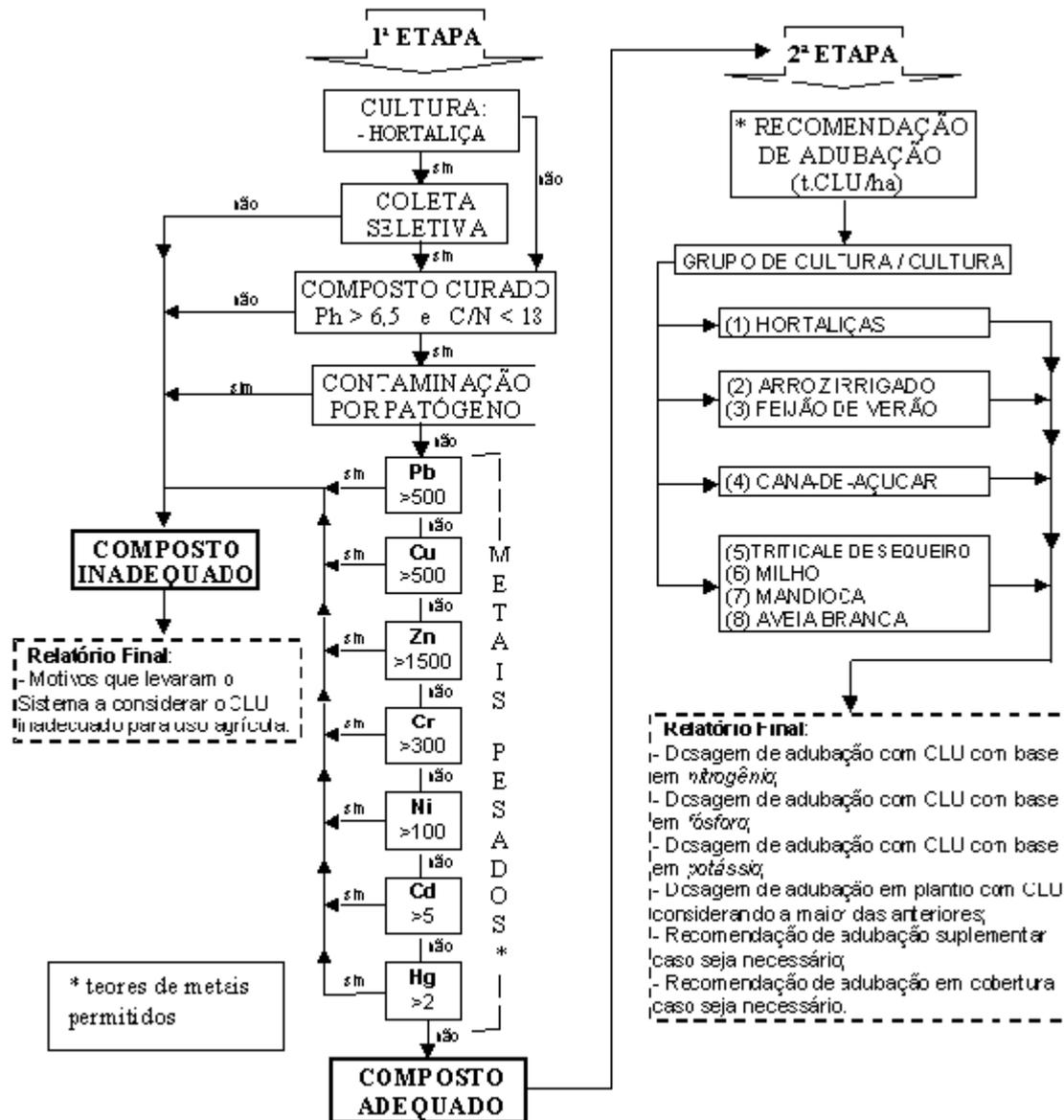
KUNDEL, A. Fuzzy Mathematical Techniques with Applications. Reading, Addison-Wesley, 1986.

OSHIRO, Adriane Kaori, NOVELLI, Andréia Dal Ponte, LUCENA1, Percival de. Monografia: Aquisição do Conhecimento, Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos, SCE – 163 - Inteligência Artificial, Professora: Solange Oliveira Rezende. 2000.

PEREIRA, Cledy Gonçalves. Tese: Análise de Crédito Bancário; Um Sistema Especialista com Técnicas Difusas para o Limite da Agência, Universidade Federal de Santa Catarina - Engenharia de Produção. 1995.

QUEIROZ, Daniel Marçal de. Notas de Aula – “Desenvolvendo Sistemas Especialistas Usando Clips ”. Engenharia de Sistemas Agrícolas - ENG 634. Universidade Federal de Viçosa. 2002.

SILVA, F. C. da; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALESTEIRO, S. D. Uso agrícola do composto de lixo no estado de São Paulo: recomendações técnicas. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. (Embrapa Informática Agropecuária. Circular Técnica). (No prelo).



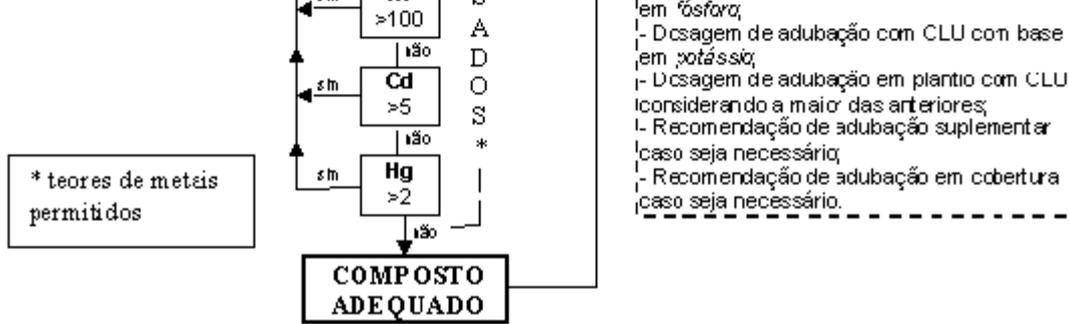


Figura 1. Diagrama da árvore de decisão deste Sistema Especialista para uso agrícola do composto de lixo urbano - CLU.