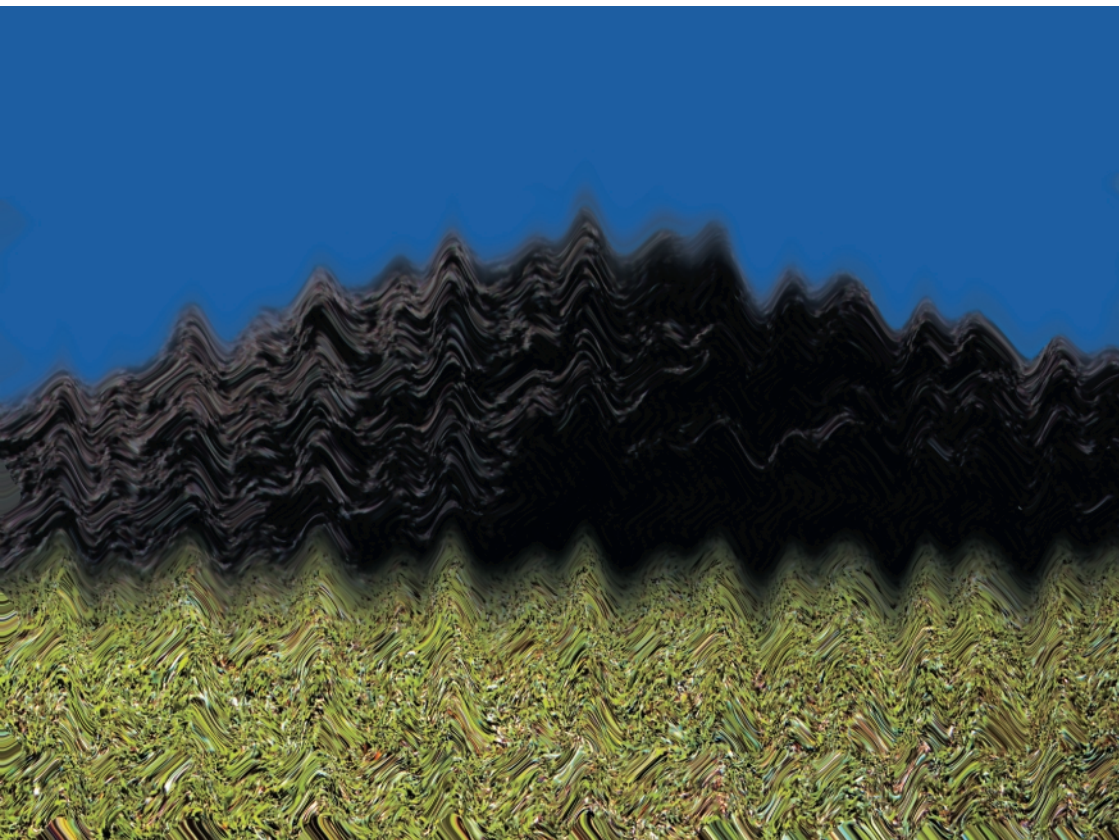


ISSN 1677-9274

## **Sistema Especialista para Aplicação do Composto de Lixo Urbano na Agricultura**



## **República Federativa do Brasil**

*Fernando Henrique Cardoso*  
Presidente

## **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

*Marcus Vinicius Pratini de Moraes*  
Ministro

## **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**

### **Conselho de Administração**

*Márcio Fortes de Almeida*  
Presidente

*Alberto Duque Portugal*  
Vice-Presidente

*Dietrich Gerhard Quast*  
*José Honório Accarini*  
*Sérgio Fausto*  
*Urbano Campos Ribeiral*  
Membros

### **Diretoria Executiva da Embrapa**

*Alberto Duque Portugal*  
Diretor-Presidente

*Bonifácio Hideyuki Nakasu*  
*Dante Daniel Giacomelli Scolari*  
*José Roberto Rodrigues Peres*  
Diretores-Executivos

### **Embrapa Informática Agropecuária**

*José Gilberto Jardine*  
Chefe-Geral

*Tércia Zavaglia Torres*  
Chefe-Adjunto de Administração

*Kleber Xavier Sampaio de Souza*  
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Álvaro Seixas Neto*  
Supervisor da Área de Comunicação e Negócios

# **Documentos 22**

## **Sistema Especialista para Aplicação do Composto de Lixo Urbano na Agricultura**

Fábio Cesar da Silva  
Flávio Oliveira da Costa  
Rangel Zutin  
Luiz Henrique Rodrigues  
Ronaldo Severiano Berton  
Ana Estela Antunes da Silva

**Embrapa Informática Agropecuária**  
**Área de Comunicação e Negócios (ACN)**

Av. André Tosello, 209

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" – Barão Geraldo

Caixa Postal 6041

13083-970 – Campinas, SP

Telefone: (19) 3789-5743 - Fax (19) 3289-9594

URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>

e-mail: [sac@cnptia.embrapa.br](mailto:sac@cnptia.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

*Amarindo Fausto Soares*

*Ivanilde Dispato*

*José Ruy Porto de Carvalho (Presidente)*

*Luciana Alvim Santos Romani*

*Marcia Izabel Fugisawa Souza*

*Suzilei Almeida Carneiro*

Suplentes

*Adriana Delfino dos Santos*

*Fábio Cesar da Silva*

*João Francisco Gonçalves Antunes*

*Maria Angélica de Andrade Leite*

*Moacir Pedroso Júnior*

Supervisor editorial: *Ivanilde Dispato*

Normalização bibliográfica: *Marcia Izabel Fugisawa Souza*

Capa: *Intermídia Produções Gráficas*

Editoração eletrônica: *Intermídia Produções Gráficas*

**1ª. edição**

on-line - 2002

**Todos os direitos reservados**

---

Sistema especialista para aplicação do composto de lixo urbano na agricultura / Fábio Cesar da Silva... [et al.]. — Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2002.

40 p. : il. — (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária ; 22)

ISSN 1677-9274

1. Sistema especialista. 2. Adubo orgânico. 3. Matéria orgânica. 4. Composto de lixo urbano. 5. Compostagem. I. Silva, Fábio Cesar. II. Série.

CDD – 21<sup>st</sup> ed.

006.33

631.86

# **Autores**

## **Fábio Cesar da Silva**

Eng. Agr., Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP.  
Telefone (19) 3789-5785

## **Flávio Oliveira da Costa**

Eng. Agrícola, Mestrando do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Av. Barão de Itapura, 1481  
13020-902 – Campinas, SP.  
Telefone (19) 3231-5422

## **Rangel Zutin**

Bacharel em Ciência da Computação, Estagiário da Embrapa Informática Agropecuária Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP.  
Telefone (19) 3789-5785

## **Luiz Henrique Antunes Rodrigues**

Eng. Agrícola, Dr., Professor Associado da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Caixa Postal 6011  
13083-970 – Campinas, SP.  
Telefone (19) 3788-1062

## **Ronaldo Severiano Berton**

Eng. Agr., Ph.D em Solos, Pesquisador do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Centro de Solos e Recursos Ambientais, Av. Barão de Itapura, 1481  
13020-902 – Campinas, SP.  
Telefone (19) 3231-5244

## **Ana Estela Antunes da Silva**

M.Sc. em Sistemas de Informação, Professora da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Informação da UNIMEP, Rodovia do Açúcar, Km 156 – 13400-901 – Piracicaba, SP.  
Telefone (19) 3124-1682

*Sistema Especialista para Aplicação do Composto de Lixo Urbano na Agricultura*

# Apresentação

No Brasil a situação do lixo é problemática, pois não há uma legislação específica para tratamento e descarte dos resíduos sólidos. Aqui são geradas 229 mil toneladas de lixo por dia, sendo que 60% do lixo não tem um destino adequado, provocando graves impactos ao meio ambiente e à saúde pública.

As práticas usuais no âmbito dos municípios de disposição final dos resíduos sólidos, como os ditos “aterros sanitários e controlados” ou os “despejos a céu aberto”, são alternativas que têm um potencial para produzirem impactos ambientais indesejáveis e de custo cada dia mais proibitivo, pela falta de espaço e de verbas para a construção de novos aterros. Também se constituem, freqüentemente, em focos de problemas de saúde pública e descontentamento da população da vizinhança, devido a contaminação das águas subterrâneas, proliferação de animais e insetos vetores de doenças e mau odor nas proximidades.

O tratamento racional do lixo urbano consiste basicamente na separação da fração orgânica compostável e dos materiais inertes recicláveis, tais como vidro, papel, papelão, material ferroso e plástico. A fração orgânica pode ser tratada por meio da compostagem, tendo como produto final um resíduo orgânico humificado com potencial de utilização na agricultura.

A contribuição da Embrapa Informática Agropecuária, em parceria com o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), Escola de Engenharia de Piracicaba e Universidade de Taubaté, vem procedendo diversos estudos básicos e aplicados ao longo dos últimos anos para viabilizar o seu uso na agricultura na forma de composto no Estado de São Paulo, desde a seleção de indicadores de maturidade desse composto, aproveitamento de nitrogênio, fósforo e potássio pelas diversas culturas e avaliação da dinâmica de metais pesados no sistema solo-planta-resíduo.

Destas pesquisas foi estruturada uma base ampla de conhecimento que foi informatizada na forma de um sistema especialista, que difere dos softwares convencionais por manejar o conhecimento e não um conjunto de dados. Esse sistema está capacitado para analisar a qualidade do material e fazer sua recomendação de adubação. Esse programa facilitará a disseminação desses conhecimentos na forma de regras e critérios, permitindo uma validação dessa sistemática para uso agrícola do composto de lixo urbano a ser implantado na própria unidade de compostagem, contribuindo na solução do problema que o lixo urbano causa ao ambiente e ao homem.

*José Gilberto Jardine*  
Chefe-Geral



# Sumário

<b>Introdução .....</b>	9
<b>Composto de Lixo Urbano .....</b>	10
Compostagem .....	10
Grau de Maturação do Composto .....	11
Composto de Lixo como Adubo e Corretivo do solo ....	12
Coleta Seletiva de Lixo .....	13
Metais Pesados .....	13
Contaminação por Patógeno .....	13
<b>Sistemas Especialistas .....</b>	14
Vantagens da Utilização de Sistemas Especialistas .....	15
Arquitetura de um Sistema Especialista .....	16
Fases de Desenvolvimento de um Sistema Especialista .....	20
Sistemas Especialistas em Web .....	21
CLIPS .....	24
<b>Aplicação deste Sistema Especialista .....</b>	24
Dados de Entrada Requeridos no Sistema .....	26
Etapas na Aplicação deste Sistema Especialista .....	26
Exemplo de Aplicação deste Sistema Especialista .....	34
Benefícios Esperados deste Sistema Especialista .....	35
<b>Resultados .....</b>	36
<b>Considerações Finais .....</b>	37
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	38

*Sistema Especialista para Aplicação do Composto de Lixo  
Urbano na Agricultura*

# Sistema Especialista para Aplicação do Composto de Lixo Urbano na Agricultura

---

*Fábio Cesar da Silva*

*Flávio Oliveira da Costa*

*Rangel Zutin*

*Luiz Henrique Rodrigues*

*Ronaldo Severiano Berton*

*Ana Estela Antunes da Silva*

## Introdução

A geração crescente de lixo urbano e a necessidade de descarte é um problema crônico na maioria dos municípios, com estimativa média de produção de 400-1.000 g/hab/dia, o qual pode causar sérios problemas ambientais na sua disposição sem critérios seguros.

O uso agrícola de resíduo urbano é uma alternativa de viabilidade técnico-científica, pois esse resíduo é fonte de nutrientes e de matéria orgânica, ainda que possa conter metais pesados e outros produtos potencialmente tóxicos aos seres vivos. No Brasil e outros países em desenvolvimento, ainda não existe legislação a respeito da qualidade do composto de lixo urbano (CLU) para fins de comercialização e tampouco normas que orientem sua aplicação aos solos. O que existe são as normas genéricas da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) para o lodo de esgoto que foram baseadas na Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana, as quais poderiam ser usadas como base comparativa para o composto de lixo. Todavia, a Embrapa Informática Agropecuária, IAC, ESALQ/USP, EEP/FUMEP e UNITAU/Taubaté, SP, vem acumulando dados de pesquisas paulistas sob o tema, buscando organizar e suprir a falta de informações relativos a esse procedimento, formalizando os critérios mínimos e oferecendo subsídios para a aplicação de CLU na agricultura, como descrito na Circular Técnica: "Recomendações Técnicas

para o uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo” (Silva et al., 2002) para algumas culturas, sendo esta publicação a base de conhecimento para o Sistema Especialista proposto neste trabalho.

O objetivo central de um Sistema Especialista (programa computacional) é captar o conhecimento de um ou mais especialistas em determinado campo, representar esse conhecimento numa base e transmiti-lo ao usuário, permitindo que obtenha respostas para perguntas relacionadas a base de conhecimento do sistema (Hall & Kandel, 1986).

Pretende-se, então, com esse Sistema Especialista, formalizar em sua base de conhecimento algumas normas e critérios para o uso, como adubo, do composto de lixo urbano, na forma de regras capazes de informar o melhor aproveitamento desse composto para a agricultura e utilizar os novos recursos em hardware e software, para disponibilizar esse sistema na Internet.

## **Composto de Lixo Urbano**

O composto de lixo urbano é um produto derivado do processo de compostagem aeróbia do material orgânico desse lixo, que promove a decomposição da fração orgânica putrescível. Como esse material é originário do descarte de animais, de vegetais e outros que foram consumidos pela população, a sua utilização no solo agrícola apresenta-se como uma alternativa cíclica natural e racional para a compostagem desse produto, uma vez que a matéria-prima para a sua produção foi, em sua maioria, originária das camadas superficiais do próprio solo. As suas vantagens podem ser mensuradas pelo baixo custo operacional; uso do produto na fertilização do solo para a agricultura e a subsequente redução da poluição do ar e da água subterrânea, evitando a poluição ambiental, reduzindo a carga orgânica e aumentando sua degradabilidade (Silva et al., 2002).

### **Compostagem**

Define-se compostagem como um processo de transformação de matéria orgânica facilmente degradável em um produto biologicamente estável

e pouco agressivo aos organismos do solo e plantas. Ao mesmo tempo, há formação de material húmico e a estabilização de formas de nutriente. Esse processo permite a reciclagem do material orgânico de origem vegetal e animal (putrescível), como por exemplo resto de comida, fezes de animais e folhas, dentre outros, os quais são transformados em um produto chamado Composto. O processo é controlado por atividade microbiana que é influenciada pela composição do material usado, aeração (fornecimento de oxigênio), temperatura e umidade.

### **Grau de Maturação do Composto**

O grau de maturação do composto de lixo é um parâmetro preponderante do sucesso de sua aplicação no solo e envolve um conjunto de propriedades químicas, físicas e biológicas que definem a estabilidade do produto para fins agrícolas.

O composto de lixo urbano maturado é definido quanto ao grau de estabilidade da matéria orgânica, quando a sua aplicação reflete em melhora das propriedades físicas, químicas, biológicas e formas mais disponíveis de nitrogênio.

O aspecto físico está relacionado à estrutura do solo. O composto de lixo, dentre outras funções, diminui a densidade aparente do solo melhorando a aeração e a retenção de água, podendo auxiliar na prevenção da erosão (Silva et al., 2002). O aspecto químico relaciona-se com a presença de nutrientes, que apesar de não se apresentar em concentrações elevadas que possam levar a fitotoxicidade, contribuem para melhorar os indicadores da fertilidade do solo (Oliveira, 2001).

Através do sistema de compostagem, o nitrogênio passa da forma inorgânica, através de um processo chamado de mineralização, para a orgânica, onde fica disponível para as plantas. Pela compostagem o nitrogênio proteico é transformado por microorganismos proteolíticos em nitrogênio amídico, e este, em amoniacal por microorganismos amonificadores; a seguir, bactérias nitrificadoras (nitrosomonas e nitrobactérias) transformam o nitrogênio amoniacal em nitrato (Kiehl, 1998) elevando o pH.

Neste sistema especialista são adotados dois parâmetros para checar se o composto de lixo está curado (Silva et al., 2002):

- pH em água: maior ou igual a 6,50;
- relação C/N: menor ou igual a 18,00.

### **Composto de Lixo Urbano como Adubo e Corretivo do solo**

O composto de lixo urbano curado utilizado na agricultura melhora as condições físicas e químicas, bem como os processos biológicos do solo.

Os efeitos do composto de lixo nas propriedades microbiológicas do solo seriam: melhoria na fixação biológica do N em leguminosas (atividade de nitrogenase, tamanho e número de nódulos) e aumento de biomassa microbiana. Tanto a atividade como a quantidade de bactérias e fungos aumentaram com a aplicação do composto, sendo que as maiores respostas são verificadas logo no primeiro dia após a incorporação do material orgânico ao solo (Silva et al., 2002).

Em relação às propriedades químicas dos solos, face à aplicação do composto de lixo, além de fornecer matéria orgânica, possui também macro e micronutrientes e metais pesados. Assim, também espera-se que os valores desses elementos aumentem no solo com essa adição.

O aumento no teor da matéria orgânica no solo ocorre em aplicações frequentes do composto de lixo. Mesmo assim esse efeito tem curta duração, chegando a desaparecer em um ano após o término da sua aplicação.

A salinização do solo pela aplicação de composto de lixo urbano é uma preocupação que pode ser estimada pela sua condutividade elétrica em pasta saturada, item que indica a quantidade de sais solúveis presentes no solo, que deve ser inferior a 2,0 dS/m e tolerado a 4,0 dS/m (Silva et al., 2002).

A associação do composto de lixo com adubos minerais, proporciona um melhor aproveitamento dos nutrientes, atuando como fonte primordial de nitrogênio, fósforo e potássio, trazendo reflexos na produção para as culturas mais exigentes (Silva et al., 2002).

## **Coleta Seletiva de Lixo**

A coleta seletiva é uma forma de coletar o lixo permitindo reciclá-lo a partir de casa, ou seja, quem produz lixo, separa-o em classes como: orgânicos, plásticos, metais, vidros e papel. Sendo eficiente reduz os metais presentes nos compostos de lixo urbano, bem como materiais inertes, como vidros, metais, entre outros. Essa prática é imprescindível na busca da qualidade do composto, o que requer um compromisso do poder público municipal em um programa especial de coleta e o engajamento da população local.

## **Metais Pesados**

O composto de lixo possui vários micronutrientes, como Zn, Mn e Cu, que podem ser liberados para as plantas com o tempo, reduzindo ou mesmo substituindo o uso de fertilizante. Entretanto, o composto de má qualidade, isto é, que vem de um lixo indevidamente coletado (por exemplo, rico em pilhas e materiais metálicos) 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 assim na sua cadeia alimentar. Existem limites máximos tolerados desses metais pesados no solo em seu teor total, para que não sejam considerados tóxicos ao meio (Silva et al., 2002).

## **Contaminação por Patógeno**

Se um composto de lixo urbano oferecer qualquer contaminação por presença de patógenos, indica que houve um processo deficiente em sua compostagem e esse material não deve ser utilizado na agricultura.

Quando a compostagem é feita sob condições ideais e bem conduzida na unidade, a leira de composto passa por uma fase mesófila, seguida de uma fase termófila, onde a temperatura chega a atingir 70 °C por alguns dias. Segundo Kiehl (1985) essa fase destrói tanto os organismos patogênicos como as ervas daninhas presentes no composto.

Os cistos de protozoários, ovos de helmintos e bactérias patogênicas são efetivamente inativadas durante o processo de compostagem aeróbia

(Gerba, 1983). Entretanto, uma compostagem adequada muitas vezes é difícil de ser conseguida, devido às condições ambientais e de manejo da usina. Assim, na própria leira de composto há um gradiente de temperatura que tende a diminuir de dentro para fora da leira. No entanto, os patógenos que sobreviverem à compostagem, terão que sobreviver no solo, que em geral é um ambiente externo ao seu hospedeiro e repleto de microrganismos extremamente adaptados a esse sistema.

## **Sistemas Especialistas**

Os sistemas de informação são sistemas que permitem comunicar conhecimentos que vão desde a coleta, o armazenamento, o processamento, a recuperação e a disseminação de informações. Atualmente, são quase todos baseados em plataformas computacionais e estão cada vez mais presentes em todas as áreas do conhecimento humano, ciências exatas, humanas e biológicas.

Entre os sistemas de informação existentes, pode-se destacar os sistemas que possuem técnicas de Inteligência Artificial, sendo os Sistemas Especialistas um tipo específico de sistema que simula o comportamento cognitivo de um ou mais especialistas humanos.

Os sistemas especialistas estão presentes em diversas áreas onde a tarefa de um especialista pode ser implementada através de um programa de computador como: Agronomia, Medicina, Engenharia, entre outras, e são capazes de diagnosticar, monitorar, analisar, interpretar, planejar, raciocinar, projetar, instruir, explicar, aprender e conceituar, sobre uma base de dados. Dessa maneira, sistemas especialistas são um tipo de sistemas de informação usado para apoiar qualquer processo de tomada de decisão em áreas de planejamento estratégico, controle gerencial e controle operacional (Sprague & Watson, 1991) dentro de uma organização.

Sistema Especialista, então, 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 e 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), como por exemplo, diagnosticar a deficiência de nutrientes diferenciando de ataque de um doença e solucionar problemas advindos no desenvolvimento dessa cultura. O sistema especialista fundamenta-se na experiência compilada de um ou mais especialistas (peritos), formando uma base de conhecimento e não apenas um conjunto de informações (dados), que aplica-se em uma determinada área.

Sistema especialista não pode ser construído sem o auxílio de pelo menos um especialista humano, que deverá estar disposto a despender esforço e tempo para organizar e transferir seu conhecimento para o sistema (Fávero & Santos, 2002; Rodrigues, 2002).

A diferenciação de sistemas especialistas e convencionais é que em sistemas convencionais observa-se o uso de algoritmos, a representação e uso de dados, os processos são repetidos e há uma efetiva manipulação de grandes bases de dados, enquanto que em sistemas especialistas observa-se o uso de heurísticas, a representação e uso do conhecimento, processos de inferência e efetiva manipulação de grandes bases de conhecimento.

Desta maneira pode-se destacar que a diferença básica entre sistemas especialistas e sistemas convencionais, é que sistemas especialistas manipulam o conhecimento e sistemas convencionais manipulam dados.

Os avanços tecnológicos em relação a hardware e software, possibilitaram disponibilizar os sistemas especialistas na Internet. Isto permitirá que esse sistema atenda seus usuários de qualquer local onde um computador estiver ligado a Internet. Além disso, com diversos especialistas usando esse sistema, novos conhecimentos poderão ser agregados à sua base de conhecimento de acordo com novas necessidades e descobertas feitas pelos mesmos.

### **Vantagens da Utilização de Sistemas Especialistas**

Existem diversas vantagens quanto ao uso de sistemas especialistas (Oshiro et al., 2000), dentre eles destacam-se:

- retenção de conhecimento crítico especializado e experiência;
- maior disponibilidade do conhecimento especializado de forma ágil e passível de disponibilizar em Web;
- redução de carga de trabalho do especialista em consultas mais triviais ou de maior frequência;
- maior autonomia para resolver problemas complexos;
- qualidade e consistência na tomada de decisão;
- obtenção de vantagem competitiva.

### **Arquitetura de um Sistema Especialista**

Um modelo básico da arquitetura dos Sistemas Especialistas possui três componentes básicos: a Base de Conhecimento, a Máquina de Inferência, e a Interface com Usuário (Levine et al., 1988).

#### **Base de Conhecimento**

A marca principal de um sistema especialista é o uso do conhecimento específico de seu domínio de aplicação através de um programa. Neste sentido, o termo “base de conhecimento” é utilizado para significar a coleção de domínio do conhecimento, ou seja, as informações, em nível de especialista, necessárias para resolver problemas de um domínio específico. Portanto, este conhecimento precisa ser organizado de uma forma adequada para que a máquina de inferência consiga tratá-lo convenientemente.

O conhecimento de um sistema especialista consiste de fatos e regras, e formam a base de conhecimento do mesmo. Os fatos constituem as informações que estarão sempre disponíveis para serem compartilhadas e atualizadas pelo especialista do domínio. Aquilo que é considerado “inteligência” pode ser dividido como uma coleção de fatos e um meio de se utilizar esses fatos para alcançar os objetivos (Levine et al., 1988). As regras caracterizam o nível de tomada de decisão do especialista em um “domínio”. Portanto, uma Base de Conhecimento pode ser vista como um conjunto de regras, cada qual podendo ser validada independente-

mente de estrutura de controle. As regras devem ser planejadas para que possa avaliar as informações para alcançar o objetivo (Levine et al., 1988).

É interessante que a base de conhecimento tenha capacidade de aprender, a partir de um aprendizado com o especialista, ou através de textos, ou experiências, etc.

Em nível de implementação, quando um sistema especialista é usado para solucionar um problema, ele age em cima de variáveis que representam os fatos para coletar um conjunto de informações e chegar próximo à solução do problema. Mas, para se alcançar seu objetivo um conjunto de regras especiais são usadas para chegar à solução exata do problema. Essas são as regras heurísticas, e diferem das outras regras porque não são formuladas como resultado de um conhecimento comum e reconhecido por todos, elas são regras que apenas um especialista conhece.

As regras representam o conhecimento dinâmico do sistema. São constituídos de fatos condicionais através do teste de condição SE-ENTÃO. SE condição A, ENTÃO solução ou ação B. Se condição B, ENTÃO solução ou ação C, e assim por diante. Desse modo uma solução ou ação somente acontecerá caso uma outra solução ou ação aconteça.

### **Aquisição de Conhecimento**

Pode-se dizer que aquisição de conhecimento é um “gargalo” desse tipo de sistema que engloba o processo de extração, transformação e transferência de informação de uma fonte de conhecimento para um programa de computador.

É um estágio fundamental no desenvolvimento de um sistema inteligente, e também o mais problemático.

Para entender o processo de aquisição de conhecimento, deve-se ter um quadro geral do seu papel no desenvolvimento de um sistema especialista. A aquisição de conhecimento tradicional pode ser melhor entendida no contexto mais amplo da engenharia de conhecimento.

O engenheiro de conhecimento é o profissional responsável pela estruturação e construção de um sistema inteligente. Ele extrai

conhecimento de alguma fonte, interpreta e representa em tipos e estruturas convenientes.

### **Máquina de Inferência**

O conhecimento é útil somente quando pode-se explorá-lo para ajudar a alcançar os objetivos (Minsky, 1988). Nos sistemas especialistas, a máquina de inferência cumpre este papel, representando o meio pelo qual o conhecimento é manipulado, utilizando-se das informações armazenadas na base de conhecimento, para resolver problemas. Para isto, deve haver uma linguagem ou um formato específico no qual o conhecimento possa ser expresso para permitir o “raciocínio” e inferência. Métodos de inferência são necessários para a utilização apropriada e eficiente dos itens de regras em uma base de conhecimento para alcançar alguns propósitos ou objetivos.

A máquina de inferência, de certo modo, tenta imitar os tipos de pensamento que o especialista humano emprega quando resolve um problema, ou seja, ele pode começar com uma conclusão e procurar uma evidência que a comprove, ou pode iniciar com uma evidência para chegar a uma conclusão. Em sistemas especialistas, estes dois métodos são chamados de “Backward Chaining” e “Forward Chaining”, respectivamente, e são os dois tipos de mecanismo de inferência (Levine et al., 1988).

- **Forward Chaining ou Encadeamento para Frente:** os fatos que acontecem são analisados para se formar uma condição sobre eles e então formular regras estabelecidas e que são relacionadas àquela condição. Para chegar a uma conclusão, passa-se por uma seqüência de fatos de forma progressiva. Uma condição que é um fato dispara uma cadeia de eventos ou conclusões. A condição vem antes da conclusão, e começa a analisar as condições e definir o encadeamento seqüencial para atingir o objetivo fim. De maneira simples os sistemas de encadeamento para frente fazem inferência através da análise de condições definidas na parte de regras desse sistema especialista e chegam a conclusões definidas na parte ENTÃO.
- **Backward Chaining ou Encadeamento para Trás:** tem-se um resultado ou uma conseqüência e que se deseja determinar condições

ou fatos que estão causando o problema. Esta técnica se resume em chegar a soluções partindo dos efeitos conseqüentes e tentando provar o antecedente da regra. Em outras palavras tem-se a doença e precisa-se diagnosticar os sintomas. Aqui o resultado já aconteceu e necessita-se descobrir a causa. Por exemplo, tem-se uma evidência de uma desordem no crescimento e na coloração das folhas que procura-se qual seria a causa dessa anômalia, que por meio de regras lógicas chega-se ao agente patogênico. Deste modo o encadeamento para trás começa com a conseqüência ENTÃO. A cadeia de raciocínio que leva à esta conseqüência começa com a pergunta ou condição SE. Se as condições forem verdadeiras descobre-se as razões pela qual se chegou à conseqüência e ao problema. Se as condições forem falsas, tem que se encontrar e chamar outras regras para se seguir uma outra cadeia de pesquisa da causa. Por exemplo, nota-se que a alteração de coloração das folhas não ocorre em “reboleiras” ou localizado (típico de doença), mas sim de forma genérica e em uma dada posição da planta (típico de deficiência nutricional). Se não existirem condições que atendam ao problema o sistema precisa saber se existem condições adicionais para o problema ser solucionado.

Nem todos os sistemas utilizam a mesma abordagem para a representação do seu conhecimento, portanto, a Máquina de Inferência deve ser projetada para trabalhar com a representação de conhecimento específica utilizada (Keller, 1991).

### **Interface com o Usuário**

A interface com o usuário visa facilitar a comunicação entre o sistema especialista e o usuário. Permite a interação com o sistema através da entrada de fatos e dados e através da saída em forma de perguntas, conclusões e explicações. Deste modo a interface do sistema especialista deve exibir a seqüência de raciocínio utilizada para se buscar uma resposta, ou seja, a seqüência condicional de fatos e regras SE-ENTÃO usada para chegar à conclusão de um problema ou algo próximo dela.

Uma boa interface com o usuário consiste de um pré-requisito básico para a implementação de sistemas especialistas, pois, por melhor que seja a estrutura do banco de dados, a coleta de informações e a riqueza dos

relacionamentos, ainda assim o sistema poderá apresentar-se como de pouca importância se subaproveitado pelo usuário. Por esse motivo, o sistema deve ser fácil de ser aprendido, usado e as informações devem estar dispostas de forma que a pessoa aproveite ao máximo o potencial intrínseco das informações ali contidas. Alguns sistemas mais recentes, têm preocupação, inclusive, em dispor ao usuário informações complementares, que podem ser de seu interesse, apesar de não terem sido solicitadas (Kasabov, 1995).

Muitos princípios baseados nas teorias cognitivas têm sido propostos para design de interface, como resultado de pesquisas na área de interação homem-máquina (Sistemas..., 2002). Uma das considerações principais no planejamento de qualquer interface homem-máquina deve ser a facilidade de uso, reduzindo ao máximo a carga cognitiva sobre o usuário.

O design de interface resulta de uma análise mais detalhada da mesma. Essa análise pode se dar através da especificação de requisitos, módulo de qualidades, perfil dos usuários e tipos de sistemas. Nessa fase normalmente se considera a modelagem do diálogo (onde se encontra o projeto visual) e a modelagem dinâmica (tratamento dos eventos).

### **Fases de Desenvolvimento do Sistema Especialista**

O desenvolvimento do sistema especialista consome tempo e não é trivial. Pode-se dividir a tarefa de desenvolvimento em cinco fases, conforme Pereira (1995):

- definição do problema: compreensão do problema, identificação de suas características, determinação dos objetivos do processo de solução do problema e definição da metodologia a ser usada;
- aquisição de conhecimento: representação e coordenação, onde encontra-se o projeto do motor de inferência, seleção de ferramentas de programação e coordenação do conhecimento;
- motor ou mecanismo de inferência: representa a forma de manipular o conhecimento, ou seja, determina a ordem que serão processadas as informações, manipulando os dados a fim de inferir novos fatos, chegar a conclusões ou recomendar ações;

- implementação: onde é feito a formulação das regras que englobam o conhecimento;
- aprendizagem: pode se dar por dicionário, tomada de recomendação, indução, por analogia e aprendizagem baseada em regras.

### **Sistema Especialista em Web**

Os especialistas usam informações de múltiplas fontes, e para que essas informações cheguem até eles, a Internet se mostra como alternativa eficaz, pois, além de permitir atualizações da base de dados de forma dinâmica, ela permite uma visualização dos resultados obtidos em qualquer computador conectado a rede (Caldwell et al., 1998).

Os sistemas especialistas baseados em Web estão sendo desenvolvidos para dar suporte a especialistas, fornecendo acesso on-line para vários bancos de dados e de informações através de softwares para análise dos dados da base de dados (Laudon & Laudon, 1999).

### **Arquitetura dos Sistemas Especialistas em Web**

Na arquitetura de um sistema especialista em Web, o cliente Web solicita ao servidor a execução de uma aplicação externa, que pode ser um programa executável na plataforma do servidor. No caso em estudo será o sistema especialista. O servidor dispara um processo para execução do programa através da interface HTML/CGI, enviando os dados recebidos do cliente de acordo com a implementação do servidor para a interface. O programa recebe os dados passados pelo servidor Web via interface HTML/CGI, que os decodifica, formula o comando SQL e abre uma conexão com o banco de dados para sua execução. O Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) retorna os dados e a conexão é finalizada. O programa executável, que é o sistema especialista, trata os dados recebidos e os repassa ao servidor, num formato que o cliente entenda, como, por exemplo, no formato HTML. O processo iniciado pelo servidor para execução do sistema especialista é finalizado neste momento. O servidor retorna os dados repassados pelo programa ao cliente (Lee & Chen, 1997).

Common Gateway Interface (CGI), também chamado de script CGI, é uma interface para executar programas externos, ou gateways, suportados por um servidor de informação. Atualmente os servidores HTTP são os que dão suporte aos scripts CGI.

A tecnologia servlets é a alternativa Java ao CGI. Servlets são componentes que estendem as funcionalidades de servidores orientados a requisição/resposta, como por exemplo, os servidores Web (Sun Microsystems, 2001). Entre outras tarefas, são usados para tratar dados de formulários HTML, reenviar requisições para outros servidores e servlets, o que é útil para balancear as tarefas distribuídas (Lee & Chen, 1997).

### **Banco de Dados em Web**

Paralelamente à crescente utilização da Internet, e ao conseqüente crescimento de informações disponíveis, torna-se necessário aplicação de conceitos de Banco de Dados para tornar possível os processos de gerenciamento e utilização dessas informações, através da rede mundial, de forma a garantir a segurança assim como a velocidade de transmissão das mesmas. Deste modo, para atender às necessidades do mercado deve-se analisar os conceitos que envolvem Banco de Dados Web em nível de flexibilidade, escalabilidade, segurança e integração das informações com que os usuários irão trabalhar (Silveira, 2002).

Através de um bom sistema de banco de dados, é possível transformar uma grande base de dados em vantagem competitiva elaborando um sistema que atue no sentido de agrupar informações que demonstrem alterações de padrões.

Assim, como em sistemas que usam bancos de dados locais, em banco de dados Web são utilizadas linguagens para implementar o acesso ao banco, como por exemplo, SQL, onde os comandos são inseridos em códigos de linguagens. Na verdade, usa-se a linguagem de acesso ao banco de dados suportada pelo SGBD que faz parte da aplicação.



## **Aplicação Web**

É o software que formara a máquina de inferência do sistema especialista que terá que interagir com o banco de dados no ambiente Web. Para esta comunicação existem desde soluções mais simples que oferecem recursos de aplicações servidoras, como CGI, ISAPI, ASP e JAVA (Servlets), até os softwares responsáveis pelo desenvolvimento e gerenciamento de aplicações Web mais robustas em servidores de aplicação como CORBA, COM+ e Enterprise JavaBeans, que estão no mercado. Ambos atendem às necessidades de interconexão com o sistema especialista, porém tudo depende de recursos disponíveis e das situações onde o sistema irá atuar.

Uma das principais vantagens do CGI está na liberdade de escolha da linguagem de programação usada para implementar os gateways, assim como no banco de dados a ser utilizado (Lim & Ng, 2002).

## **Interface Web**

No início do processamento de dados, distinguia-se basicamente a interface baseada em caracteres. Atualmente, a maioria das aplicações utiliza as interfaces gráficas – Graphical User Interface (GUI), e algumas já estão evoluindo o conceito deixando de ser voltadas à aplicação para se tornarem voltadas a objeto, utilizando as Object User Interface (OUI) e, paralelamente, com a crescente utilização da Internet, surgiram as Web User Interface (WUI) ou Network User Interface (NUI), amplamente difundidas dentro da rede mundial.

A interface Web terá que atender às necessidades de um sistema especialista, ou seja, deve mostrar a seqüência de raciocínios utilizada para buscar a solução de um problema e deve exibir um resumo das informações por meio de gráficos, tabelas ou relatórios.

Para isto temos que utilizar a linguagem HTML que suporta a exibição de textos, sons e imagens e integra um servidor Web com os navegadores (browser) Web, além de interagir com todos os tipos de aplicações.

Para o usuário a interface é o sistema, o resto é a caixa preta. Se a interface não funciona, não interessa quais são os algoritmos que residem na caixa. A responsabilidade por criar softwares usáveis é função do projetista de interface (Lim & Ng, 2002).

## **CLIPS**

É uma linguagem de programação computacional, para o desenvolvimento de Sistemas Especialistas. O C Language Integrated Production System (CLIPS) é uma ferramenta poderosa para 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 e do conhecimento utilizando procedimentos do tipo funções e sub-rotinas (Queiroz, 2002).

A linguagem CLIPS foi escrita em linguagem C para permitir portabilidade e rapidez de execução e tem sido instalado nos mais diversos tipos de plataformas. Um sistema especialista desenvolvido usando CLIPS pode ser inserido como um procedimento e chamado em um programa como se fosse uma sub-rotina. O CLIPS pode ser integrado com diversas linguagens, como por exemplo: FORTRAN, VISUAL BASIC, DELPHI e outras. A linguagem CLIPS pode ser estendida pelo usuário por meio do uso de muitos protocolos bem definidos (Queiroz, 2002).

A versão padrão do CLIPS permite interatividade com o usuário, apresenta um ambiente orientado por textos, incluindo ferramentas para checagem do código implementado pelo usuário, sistema de ajuda on-line e um editor de texto integrado (Queiroz, 2002).

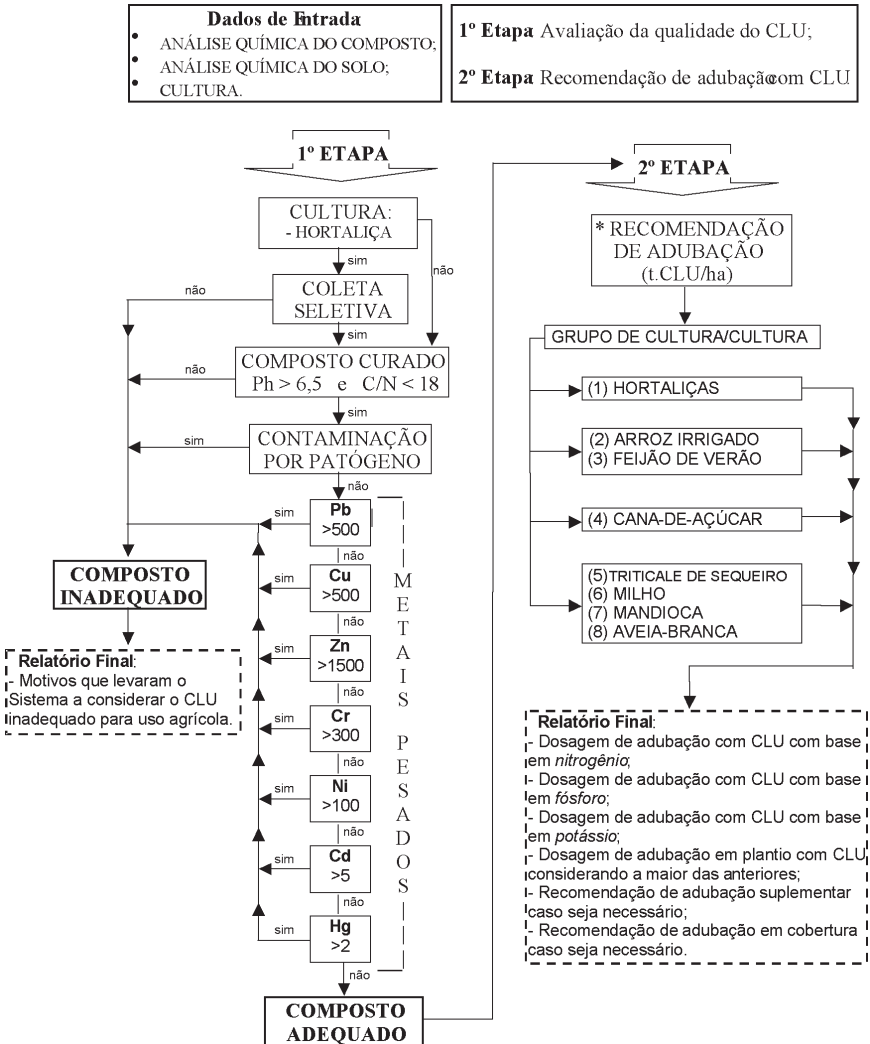
A linguagem CLIPS contém inúmeros recursos para facilitar a verificação e validação de sistemas especialistas, incluindo suporte para o projeto modular da base de conhecimento, checagem de restrições estáticas e dinâmicas, análise da consistência das regras implementadas para prevenir contra erros de programação (Queiroz, 2002).

## **Aplicação deste Sistema Especialista**

Sistemas reais complexos são constituídos de inúmeras regras, de tal forma que nem sempre o especialista humano tem possibilidade de agir com a precisão requerida. Sistemas especialistas são desenvolvidos para auxiliar em problemas complexos, constituídos de múltiplas regras.

Este sistema especialista visa dar suporte ao uso correto do composto de lixo urbano, 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 composto sendo adequado, o sistema poderá, então, fazer recomendação de adubação, conforme apresentado na Fig. 1.



**Fig. 1.** Diagrama da árvore de decisão do sistema especialista, para uso agrícola de composto de lixo urbano (CLU).

## **Dados de Entrada Requeridos no Sistema**

### **Cultura**

O usuário deve selecionar a cultura onde pretende-se aplicar o composto de lixo.

### **Composto de Lixo**

Análise química do composto, que deve informar as quantidades dos seguintes elementos: nitrogênio (N), acidez (pH em água), relação C/N, fósforo ( $P_2O_5$ ), potássio ( $K_2O$ ), carbono (C), cobre (Cu), cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn).

### **Solo**

Análise química do solo, que deve fornecer os teores dos seguintes elementos: potássio (K) e fósforo (P-resina).

## **Etapas na Aplicação deste Sistema Especialista**

### **Primeira Etapa – Avaliação da qualidade do Composto de Lixo Urbano**

Nesta etapa será avaliado a qualidade do composto de lixo. Essa tem a característica de relatar em seu final se o composto está ou não adequado a ser aplicado ao solo. Caso não, serão relatados os motivos que levaram a essa conclusão.

Os critérios ou regras descritos em Silva et al. (2002), foram:

- Tipo de coleta do lixo  
O composto de lixo 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.
- Contaminação por patógeno  
Com relação a este item, o sistema especialista adotará os seguintes critérios:
  - o usuário informará se o composto de lixo apresenta patógenos (salmonella, coliformes fecais ou helmintos). Caso afirmativo, o

sistema especialista inviabilizará a utilização do composto para as culturas do grupo das hortaliças e para a mandioca;

- se na presença de patógeno algum apresentar concentração maior que as mencionadas a seguir, o sistema especialista inviabilizará a utilização do composto de lixo urbano para as demais culturas.
- *Salmonella* sp. – densidade - 3 NMP/4g ST
- Coliformes fecais – densidade - 1.000 NMP/g ST
- Helminhos – densidade - 1/4g ST
- Avaliação da qualidade do processo de compostagem

Para o sistema especialista inviabilizar a utilização do composto de lixo urbano por apresentar indícios para detectar uma falha no processo de compostagem, ele usa dois critérios: primeiro, pelo teor do pH em água do composto. Neste caso se o teor for menor que 6,5; segundo, se a relação carbono/nitrogênio (C/N) for maior que 18.

- Limites permissíveis de metais pesados

Foram estipulados limites para cada metal pesado. Caso o teor de um metal pesado ultrapasse esse limite, o sistema especialista considerará o composto de lixo 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
- Mercúrio (Hg): 2

### **Segunda Etapa – Recomendação de Adubação**

Nessa etapa, caso o usuário queira, o sistema especialista fará recomendação de adubação com o composto de lixo. Após qualificar o composto como adequado a ser utilizado como adubo para a cultura especificada, o sistema

poderá fazer a recomendação de adubação. Essa 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 de composto a ser aplicado (toneladas por hectare). Poderá fazer também recomendação de adubação em cobertura e/ou suplementar com adubo químico.

Apesar de parecer meio óbvio se o usuário quiser fazer recomendação de adubação, esse sistema especialista dará esta opção para situações onde se queira apenas avaliar a qualidade do composto de lixo, não tendo a necessidade, então, de se ter a análise química de solo.

### **Grupos de Culturas/Culturas Habilitadas**

Foram analisados, pelos Pesquisadores Fábio Cesar da Silva da Embrapa Informática Agropecuária, Ronaldo Severiano Berton do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), José Carlos Chitolina da ESALQ e Serafim Daniel Balesteiro da UNITAU, conforme descrito em Silva et al. (2002), 32 ensaios em várias culturas. Dividiu-se os ensaios por agrupamento de culturas com necessidades nutricionais semelhantes ou próximas. Em um conjunto de ensaios, avaliou-se a resposta em produção relativa de cada grupo de culturas testadas ao composto de lixo. Foi diretamente correlacionada à quantidade de P e/ou K aplicada na forma de composto e inversamente proporcional aos teores desses elementos no próprio solo. Nesse ponto, dividiu-se as respostas a partir das classes de teores originais dos solos e, verificou-se a quantidade do nutriente a ser aplicada e se haveria a necessidade de suplementação química para atingir a produtividade maior para a cultura.

Como resultado, procedeu-se a avaliação por agrupamento de cultura, conforme a seguir:

- hortaliças (alface, beterraba e chicória);
- arroz irrigado e feijão-de-verão;
- cana-de-açúcar;
- triticale de sequeiro, milho, mandioca e aveia-branca.

### **Dosagem de Adubação com Composto de Lixo Urbano**

As dosagens de adubações foram feitas de acordo com os grupos de culturas/cultura descrito no item anterior baseado em estudos dos mesmos pesquisadores. As Tabelas apresentadas a seguir, são os resultados

apresentados em Silva et al. (2002) e foram estas as dosagens colocadas na base de conhecimento do sistema especialista proposto neste trabalho.

**Hortaliças** (alface, beterraba e chicória)

**Adubação de plantio:** aplicar o composto de lixo de uma só vez em área total, incorporando-o imediatamente, de acordo com a análise de solo, conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Recomendações das quantidades de composto de lixo urbano (CLU) a serem aplicadas, em toneladas de matéria seca por hectare, em função de teores de fósforo e de potássio, fornecidos pela análise de solo, e da composição do composto de lixo, para as hortaliças: alface, beterraba e chicória.

Composição do Composto		P resina, mg/dm <sup>3</sup>			K+trocavél, mmolc/dm <sup>3</sup>		
		0-25	26-60	>60	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0
Nutriente %CLU		CLU, Mg/ha					
P %	> 0,6	* 15	* 5	* 5	-	-	-
	0,2 a 0,6	25	* 15	* 5	-	-	-
	< 0,2	50	35	25	-	-	-
K %	> 1,2	-	-	-	* 15	* 10	* 5
	0,4 a 1,2	-	-	-	25	* 15	* 5
	< 0,4	-	-	-	50	40	30

\*Dosagem abaixo de 15 Mg/ha, a resposta da hortaliça é predominante a quantidade de matéria orgânica aplicada, não mais ao suprimento de PK.

### Observações

1. O fósforo do composto de lixo atende aproximadamente à metade da recomendação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> das hortaliças se o teor no solo, segundo o Boletim Técnico 100 IAC (1997), estiver Muito baixo/Baixo (0-25 mg P dm<sup>-3</sup>), complementar com 150 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e se o teor estiver Médio (26-60 mg P dm<sup>-3</sup>) complementar com 100 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;

2. se N do composto de lixo < 0,8% aplicar 40 kg/ha de N complementar;  
 - se N do composto de lixo > 0,8% não complementar.

**Adubação em cobertura: a) beterraba** - aplicar de 20-40 kg/ha de N, aos 25-35 dias após a germinação; e **b) alface e chicória** - aplicar de 20-30 kg/ha de N, para a alface, aos 25-35 dias após a germinação e para a chicória, aos 15-25 dias após a germinação.

Não recomenda-se doses acima de 50 Mg ha<sup>-1</sup> do composto em base seca, devido ao risco de salinização que não deve ultrapassar a condutividade elétrica de 3,0 mS/m no solo.

### Arroz Irrigado e Feijão-de-verão

**Adubação de plantio:** aplicar o composto de lixo de uma só vez em área total antes do plantio, de acordo com a análise de solo, conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Interpretação de teores de fósforo e potássio em análise de solo e na composição do composto de lixo para recomendação de sua dosagem em toneladas de matéria seca por hectare em arroz irrigado<sup>1</sup> e feijão-de-verão<sup>2</sup>.

Composição do Composto		P resina, mg/dm <sup>3</sup>			K+trocavél, mmolc/dm <sup>3</sup>		
		0-6	7-40	>40	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0
Nutriente %CLU		CLU, Mg/ha					
P %	> 0,6	15	* 10	* 5	-	-	-
	0,2 a 0,6	20	15	* 10	-	-	-
	< 0,2	50	35	* 10	-	-	-
K %	> 1,2	-	-	-	* 10	* 10	* 5
	0,4 a 1,2	-	-	-	20	* 10	* 10
	< 0,4	-	-	-	40	30	* 10

\* Dosagem abaixo de 10 Mg/ha, a resposta é predominante a quantidade de matéria orgânica aplicada, não mais ao suprimento de PK.

<sup>1</sup> Produtividade esperada de 4-6 Mg Ha<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> Produtividade esperada de 1,5-2,5 Mg ha<sup>-1</sup>.



**Adubação em cobertura:** aplicar de 40 a 60 kg/ha de N para a gramínea. **Arroz** - no início da diferenciação da panícula, utilizar a menor dosagem quando as plantas apresentarem crescimento inicial muito vigoroso e coloração verde intensa. **Feijão** - aos 25 a 30 dias após a emergência das plantas, utilizar uma cobertura em dose de 50 kg/ha de N em solos arenosos, principalmente no período das águas. Nos demais solos a demanda de N pode ser atendido por doses acima de 30 Mg ha de composto. O composto deve suprir plenamente de P a cultura em dose acima de 25 Mg/ha. Entretanto, se o potássio do composto for muito abaixo de 0,4% será necessária uma suplementação de fertilizantes potássico.

### **Cana-de-açúcar**

**Adubação de plantio:** aplicar o composto de lixo de uma só vez em área total ou no sulco aprofundado a 30 cm de plantio na cana-planta, de acordo com a análise de solo e os teores de N, P e K do composto de lixo, conforme Tabela 3.

A necessidade de aplicação de composto de lixo para soqueira pode ser baseada também na demanda de N (em torno de 90 kg/ha) a partir da quantidade de N-total adicionada na forma do composto e uma eficiência de 50% do N em mineralização desse ao ser aplicado ao solo em soqueiras. Uma outra maneira prática seria considerar a relação de N no composto e a dose aplicado desse material.

Na soqueira, a resposta ao composto de lixo deve-se a fonte de N e em menor frequência o K contido no material, mas parece que a relação NK ser muito importante.

Na prática, o mais usual em função da composição média do composto seria para plantio ou soqueira 30 Mg ha<sup>-1</sup> com complementação da metade da dose de P recomendado pelo Boletim 100 do IAC. Em algumas situações pode-se ter resposta em produtividade de cana-de-açúcar, mesmo em área já adubada por NPK, que se deve a um efeito positivo na retenção hídrica no solo orgânico potencializando o uso dos próprios fertilizantes químicos (Kiehl, 1985), em parte a fornecimento de micronutrientes e o papel da matéria orgânica.

**Tabela 3.** Interpretação de teores de fósforo, potássio e nitrogênio em análise de solo e na composição do composto de lixo para recomendação de sua dosagem em toneladas de matéria seca por hectare em cana-de-açúcar<sup>1</sup> em plantio.

Composição do Composto		P resina, mg/dm <sup>3</sup>				K+trocavél, mmolc/dm <sup>3</sup>		
		0-6	7-15	16-40	>40	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0
Nutriente %CLU		CLU, Mg/ha						
P %	> 0,6	15	* 10	* 5	-	-	-	-
	0,2 a 0,6	30	20	15	* 10	-	-	-
	< 0,2	50	35	25	* 10	-	-	-
K %	> 1,2	-	-	-	-	15	* 10	* 5
	0,4 a 1,2	-	-	-	-	20	15	* 10
	< 0,4	-	-	-	-	50	30	20
		CLU, Mg/ha						
** N %	> 3,5	20						
	1,8 a 3,5	30						
	< 1,8	45						

\* Dosagem abaixo de 10 Mg/ha, a resposta é predominante a quantidade de matéria orgânica aplicada, não mais ao suprimento de PK.

\*\*No caso de soqueira de cana-de-açúcar, indica-se a aplicação nas entrelinhas e cultivo seqüencial nas séries baseado no N do composto.

<sup>1</sup> Produtividade esperada de 80 a 120 Mg ha<sup>-1</sup>.

### Triticale de sequeiro, milho, mandioca e aveia-branca

**Adubação de plantio:** aplicar o composto de lixo de uma só vez em área total antes do plantio em 20 a 30 dias, incorporando, de acordo com a análise de solo, conforme Tabela 4.

Se houver resposta a potássio e o composto a ser empregado tenha pelo menos 0,5% de K, recomenda-se aplicar o equivalente a 50 a 80 kg de K<sub>2</sub>O na forma de composto por hectare. Os índices de eficiência no primeiro ciclo do composto seriam de: N de 35 a 50%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 35 a 65% e K<sub>2</sub>O de 60 a 90%.

**Tabela 4.** Interpretação da análise de solo para recomendação da dose de composto de lixo em triticale de sequeiro<sup>1</sup>, milho<sup>2</sup>, mandioca<sup>3</sup>, e aveia-branca<sup>4</sup>, em função dos teores de N, P e K nos compostos, mas considerando-se o fator de eficiência.

Composição do Composto		P resina, mg/dm <sup>3</sup>				K+trocavél, mmolc/dm <sup>3</sup>		
		0-6	7-15	16-40	>40	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0
Nutriente %CLU		CLU, Mg/ha						
P %	> 0,6	15	* 10	* 5	* 5	-	-	-
	0,2 a 0,6	20	15	* 10	* 5	-	-	-
	< 0,2	40	35	25	15	-	-	-
K %	> 1,2	-	-	-	-	20	15	*10
	0,4 a 1,2	-	-	-	-	25	20	15
	< 0,4	-	-	-	-	30	25	15
		CLU, Mg/ha						
**N %	> 3,5	* 10						
	1,8 a 3,5	15						
	< 1,8	30						

\* Dosagem abaixo de 10 Mg/ha, a resposta é predominante a quantidade de matéria orgânica aplicada, não mais ao suprimento de PK.

\*\*Eficiência de N é de 35% do total.

<sup>1</sup> Produtividade esperada de 2-3 Mg ha<sup>-1</sup>;

<sup>2</sup> Produtividade esperada de 6-8 Mg ha<sup>-1</sup>;

<sup>3</sup> Produtividade esperada de 15-20 Mg ha<sup>-1</sup>;

<sup>4</sup> Produtividade esperada de 2-3 Mg ha<sup>-1</sup>.

### Adubação em cobertura

**Triticale** - aplicar 40 kg/ha de N e 30 kg/ha de K<sub>2</sub>O, de 30-35 dias após a emergência, em complementação ao composto a ser adicionado em área total. O triticale tem uma interação muito positiva entre o composto com as fertilizações químicas, tanto nitrogenadas como fosfatadas.

**Milho** - aplicar 60 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> suplementar no plantio, pois o composto tem mostrado-se uma fonte moderada de P, mas excelente fonte de N.

**Aveia-branca** - aplicar 20 kg/ha de N, aos 30-40 dias após a brotação para a mandioca e o mesmo período após a germinação para a aveia branca; pode-se dispensar a cobertura, no caso de plantas muito verdes, em áreas recém-desbravadas ou pousio.

**Mandioca de mesa** - um aspecto a se observar é que a mandioca tem uma resposta mais consistente sem suplementação mineral, devido a cultura requerer uma adequada quantidade de nutrientes para que haja um equilíbrio do crescimento da parte aérea e das raízes.

### **Exemplo de Aplicação deste Sistema Especialista**

Dados de entrada fornecidos ao sistema:

- *Cultura*:..... Milho

Dados da análise química do composto de lixo urbano:

- *Nitrogênio - N (%)*:..... 2,00
- *Fósforo - P (%)*: ..... 0,50
- *Potássio - K (%)*: ..... 0,20
- *Relação C/N*: ..... 16,00
- *pH em água*: ..... 7,00
  
- **Metais pesados: (mg/Kg)**
  - *Chumbo (Pb)*: .....450,00
  - *Cobre (Cu)*: .....200,00
  - *Zinco (Zn)*: .....800,00
  - *Cromo (Cr)*: .....150,00
  - *Níquel (Ni)*: ..... 40,00
  - *Cádmio (Cd)*: ..... 2,00
  - *Mercúrio (Hg)*: ..... 0,50

Dados da análise química do solo:

- *Fósforo - P resina (mg/dm<sup>3</sup>):* ..... 20,00
- *Potássio - K+trocável (mmolc/dm<sup>3</sup>):* ..... 1,50
  
- *Tipo de coleta de lixo:* .....seletiva
  
- *Contaminação por patógeno*..... não contaminado

Resultado:

- ✓ Qualidade deste composto de lixo urbano a ser aplicado na agricultura..... adequada
- ✓ Dosagem de adubação com base em nitrogênio (N).....15 t/ha
- ✓ Dosagem de adubação com base em fósforo (P).....10 t/ha
- ✓ Dosagem de adubação com base em potássio (K).....30 t/ha
  
- Dosagem de adubação no plantio.....30 t/ha  
(*considera a maior das anteriores*)
- Adubação complementar de plantio.....60 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

### **Benefícios Esperados deste Sistema Especialista**

- Suprir parcialmente a carência, pela falta de legislação brasileira, em relação a regras e critérios para se aplicar o composto de lixo urbano na agricultura paulista corretamente ao solo;
- facilitar o acesso, aos agricultores que utilizam o composto de lixo em suas terras, oferecendo a eles conhecimento sobre o uso correto, já que um dos objetivos deste projeto é deixá-lo disponível na Internet;

- rapidez na obtenção de resposta;
- evitar que o composto de lixo urbano se torne tóxico ao ambiente, por recomendar seu uso com critérios corretos;
- usar a dosagem correta na aplicação do composto de lixo em adubação e sem oferecer risco ambiental;
- qualidade e consistência na tomada de decisão sobre o uso do composto de lixo;
- aumento na demanda de uso do composto de lixo em consequência do acesso facilitado, ao usuário, dos conhecimentos disponíveis para o melhor uso desse material;
- sistema computacional interativo com o usuário através de linguagem natural;
- oferecer um guia para que os agricultores possam validar uma sistemática de uso agrícola do composto de lixo urbano.

## Resultados

Com base nos dados da análise química do composto de lixo urbano, da cultura onde ele será destinado, nas informações do tipo de coleta de lixo e contaminação por patógeno, esse sistema especialista avalia a qualidade do composto de lixo. Através de dados da análise química do composto de lixo e do solo, mais a informação da cultura, o sistema especialista fará a recomendação de adubação para plantio e possíveis suplementação com adubos químicos.

No relatório final emitido pelo sistema especialista, ele fornece os seguintes diagnósticos: primeiro da qualidade do composto de lixo urbano, onde caso o composto de lixo seja considerado inadequado para o uso agrícola, ele relata os motivos que levaram o sistema a fazer essa análise; segundo a recomendação de adubação com composto de lixo, com base nos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) do composto de lixo e nos teores de P e K do solo, sendo esta etapa possível apenas se o sistema especialista considerar o composto de lixo adequado a ser aplicado na agricultura. No relatório final desta etapa, o sistema

especialista indica a dosagem de adubação, uma com base no N, outra no P e outra no K, sendo adotada para plantio a que apresentar a maior quantidade. Caso seja necessário, o sistema especialista fornece, também, recomendação de adubação suplementar de plantio e/ou em cobertura com adubos químicos.

## **Considerações Finais**

Esse sistema especialista será muito importante em relação ao uso adequado do composto de lixo urbano. Será uma ferramenta valiosa pelo fato de não existir legislação no Brasil, sobre critérios para aplicação correta do composto de lixo ao solo. A base de conhecimento deste sistema, traz em síntese vários resultados de pesquisas de especialistas da área. Esse programa facilitará a disseminação desses conhecimentos, permitindo uma validação dessa sistemática para uso agrícola do composto de lixo, contribuindo na solução do problema que o lixo urbano causa ao meio ambiente e a saúde pública.

Como recomendação, é importante que se agregue novos conhecimentos a esse sistema especialista, em relação ao uso correto do composto de lixo urbano, bem como aumentar o número de culturas para as quais o programa está capacitado a fazer recomendações de adubação, com objetivo de atingir um número maior de usuários desse produto e promover a adaptação dessas regras à medida que avança o conhecimento científico e tecnológico para o uso agrícola do composto de lixo, aumentando assim seu consumo.

Evoluir esse sistema especialista com objetivo de melhorar a comunicação entre o usuário e a Interface e ainda disponibilizá-lo em Web, é a próxima pretensão deste projeto. Para isso tem-se que analisar entre as ferramentas que oferecem uma Interface amigável, tais como, Java, Delphi, Visual Basic, entre outras, aquelas que atendam as necessidades para possibilitar uma integração com o CLIPS e a linguagem HTML que é a padrão da Web.

## Referências Bibliográficas

CALDWELL, N. H. M.; BERNARD, B.; HOLBURN, D. M. Remote instrument diagnosis on the Internet. **IEEE Intelligent Systems**, v. 13, n.3, p. 70-76, May/June, 1998.

FÁVERO, A. J.; SANTOS, N. M. dos. **Sistemas especialistas**: tutorial. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/ia/especialistas/index.html>>. Acesso em: 20 maio 2002.

GERBA, C. P. Pathogens. In: PAGE, A. L.; GLEASON III, T. L.; SMITH JUNIOR, J. E.; ISKANDER, I. K.; SOMMERS, L. E. (Ed.). **Proceedings of the 1983 Workshop on Utilization of Municipal Wastewater and Sludge on Land**. Riverside, CA: University of California, 1983. p.147-198.

HALL, L. O.; KANDEL, A. **Designing fuzzy expert systems**. Rheinland: Verlag, 1986.

JACKSON, P. **Introduction to expert systems**. 2<sup>nd</sup> ed. Reading: Addison Wesley, 1999.

KASABOV, N. Building comprehensive AI and the task of speech recognition. In: ALSPECTOR, J.; GOODMAN, R.; BROWN, T. (Ed.). **Proceedings of the International Workshop on Applications of Neural Networks to Telecommunications**. Stockholm: Laurence Erlbaum, 1995. p. 178-187.

KELLER, R. **Tecnologia de sistemas especialistas**: desenvolvimento e aplicação. Rio de Janeiro: Makron Books do Brasil, 1991.

KUNDEL, A. **Fuzzy mathematical techniques with applications**. Reading: Addison Wesley, 1986.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Ed. Autor, 1998. 171 p.

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

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Management information systems**: organization & technology in the networked enterprise. 3<sup>rd</sup> ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1999.



LEE, C.; CHEN, Y.-T. **An embedded visual programming interface for intelligent information retrieval on the web.** In: IEEE KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING EXCHANGE WORKSHOP – KDEX'97), 1997, Newport Beach. p. 46. Disponível em: <<http://www.computer.org/proceedings/kdex/8230/82300046abs.htm>>. Acesso em: 20 maio 2002.

LEVINE, R. I.; DRANG, D. E.; EDELSON, B. **Inteligência artificial e sistemas especialistas – aplicações e exemplos práticos.** Rio de Janeiro: Mc Graw-Hill, 1988.

LIM, E.-P.; NG, W. K. **A relational interface for heterogeneous information sources.** p. 128. Disponível em: <<http://www.computer.org/proceedings/adl/8010/80100128abs.htm>>. Acesso em: 20 maio 2002.

MINSKY, M. L. **The society of mind.** New York: Touchstone, 1988. 292 p.

OLIVEIRA, S. de. **Estudo sobre métodos de compostagem de resíduos sólidos urbanos:** grau de maturação e qualidade do composto. 2001. 119 p. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara.

OSHIRO, A. K.; NOVELLI, A. dal P.; LUCENA, P. de. **Aquisição do conhecimento.** São Carlos: USP - Instituto de Ciências Matemáticas, 2000. Monografia – Disciplina SCE – 163 - Inteligência Artificial.

PEREIRA, C. G. **Análise de crédito bancário: um sistema especialista com técnicas difusas para o limite da agência.** 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

QUEIROZ, D. M. de. **Desenvolvendo sistemas especialistas usando clips.** Viçosa: UFV, 2002. Notas de aula - Disciplina: Engenharia de Sistemas Agrícolas - ENG 634.

RODRIGUES, L. H. A. **Sistemas especialistas aplicados à agricultura.** Campinas: Unicamp/Feagri, 2002. Notas de aula – Disciplina: Sistemas Especialistas Aplicados a Agricultura - AP502.

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.

SILVEIRA, F. F. **Técnicas de banco de dados para a World Wide Web – resumo.** 6 p. Disponível em: <[http://www.alternet.com.br/users/ffs/download/Art\\_BD\\_ffs.pdf](http://www.alternet.com.br/users/ffs/download/Art_BD_ffs.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2002.

SISTEMAS especialistas. In: CHAIBEN, H. **Inteligência artificial na educação.** Disponível em: <<http://www.cce.ufpr.br/~hamilton/iaed/iaed.htm>>. Acesso em: 09 fev. 2002.

SPRAGUE, R. H.; WATSON, H. J. **Sistemas de apoio a decisão:** colocando teoria em prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

SUN MICROSYSTEMS. **Java servlet technology:** the power behind the server. Disponível em: <<http://java.sun.com/products/servlet> >. Acesso em: 20 maio 2002.



---

*Informática Agropecuária*