

### **Introdução**

O acirramento da concorrência entre os agentes produtivos tem gerado uma necessidade crescente pela agregação de maior qualidade aos seus produtos e, por consequência, a uma abordagem inter-disciplinar e inter-institucional para temas como o emprego eficiente de fosfato, o que tem impactos importantes para os custos de produção, uma vez que a participação relativa de fertilizantes podem perfazer a quarta parte do total da planilha de gastos. Neste contexto, o emprego de modelos matemáticos para simulação permite a visualização de cenários alternativos concernentes às melhores opções de investimento no uso de nutrientes (fertilizantes), água (irrigação) e outros fatores que têm influência no custo de produção, visando as melhores práticas do ponto de vista da eficiência e da sustentabilidade no uso dos recursos naturais. O uso de modelos matemáticos de simulação numérica da produção agrícola, a exemplo dos implementados com o software DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) ou com um outro para os Sistemas Agroflorestais, é um poderoso instrumento para fazer previsões de crescimento da cultura e estimativa da produtividade agrícola, baseado em teores de nutrientes no solo e no balanço de água. Todavia, para o emprego adequado de modelos matemáticos, é necessário que este seja calibrado experimentalmente. Algumas pressuposições básicas de análise de variância para os dados experimentais e um número mínimo de ensaios devem ser obedecidos para que estes se tornem representativos. No escopo deste projeto, deverá ser estabelecido um protocolo básico, cuja função será a de garantir a validade dos modelos e a qualidade dos dados experimentais (ex.: homogeneidade de variância, baixo coeficiente de variação, distribuição normal). Os modelos matemáticos de fósforo no solo, associados ao crescimento de culturas (Ex.: milho, trigo e cana-de-açúcar), por princípio conceitual, permite que conhecimentos gerados em um local sejam transferidos para outro via simulação. Pode-se, então, prever a produtividade para outros anos, constituindo-se numa ferramenta para recomendação independente de localização, estação do ano, cultura, variedade ou manejo. A presente proposta concentra-se em estabelecer os processos-chaves da ciclagem de nutrientes de modo que, a partir do exercício de simulação, estes possam ser melhor utilizados, reduzindo perdas e, conseqüentemente, aumento sua eficiência em sistema agrícolas. Além disso, esta proposta é orientada para a calibração de modelos de dinâmica do fósforo no sistema solo-planta, a ser inserido como subrotina no Sistema DSSAT nos modelos CERES, GROPGRO e de Cana-de-Açúcar. Todavia, a lógica da organização de informações para ajustes de modelos pode ser semelhante para a área de agrofloresta, mas requer um estudo dirigido para entender o seu modelo específico: os "inputs" e os dados mínimos requeridos pelo Modelo WaNuLCAS do ICRAF (atributos/parametros/ variáveis) e que deveriam ser levantados nos SAFs.

Para realizar a proposta descrita, será necessário executar alguns passos, os quais podem ser divididos em duas etapas. Numa primeira etapa, serão feitos os seguintes passos: (a) identificar as variáveis mais importantes relacionadas ao modelo de P, para cada cultura, incluindo as que se referem às condições edafoclimáticas (coleta e estruturação de um banco de dados georeferenciados ou não); (b) realizar uma análise preliminar da qualidade de dados, incluindo a verificação do número de experimentos para fins de modelagem no DSSAT. Ainda nesta etapa, serão realizados: (c) estudos com o modelo de P para as culturas, tentando averiguar sua adequação às condições nacionais e identificar possíveis problemas existentes; e (d) estudos de mecanismos para integração dos resultados

<sup>1</sup> Eng. Florestal e Agrônomo, Dr., Pesquisador da **Embrapa Informática Agropecuária, Campus da UNICAMP, C. Postal 6041, 13.083-970 – Campinas, SP. Bolsista do CNPq.(email: fcesar@cnptia)**

<sup>2</sup> Eng. Eletrônico, Dr., Pesquisador da **Embrapa Informática Agropecuária, C. Postal 6041, 13.083-970 – Campinas, SP. (email: narciso@cnptia.embrapa.br);**

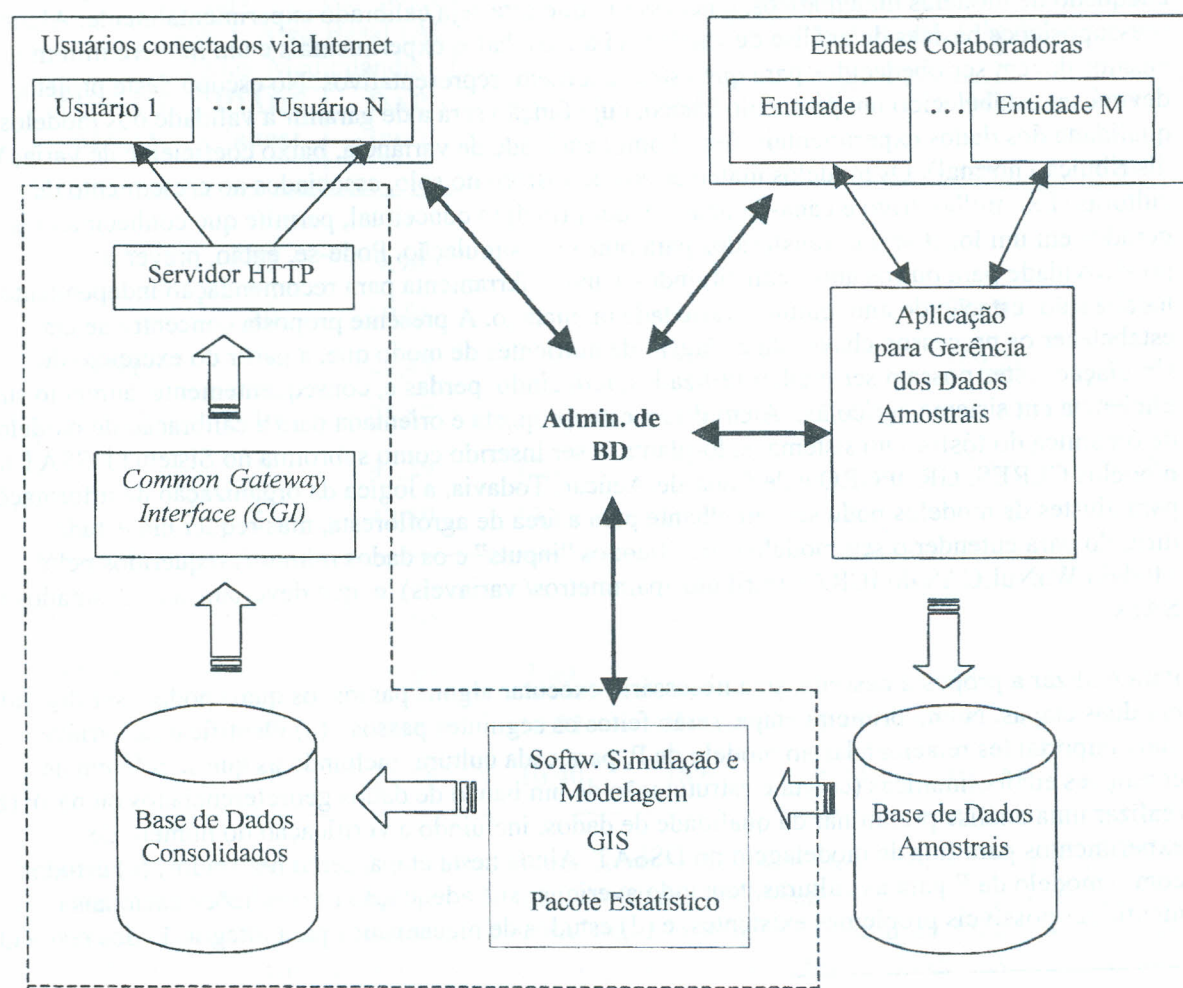
<sup>3</sup> Eng. Elétrico, M.Sc., Pesquisador **Embrapa Informática Agropecuária, C. Postal 6041, 13.083-970 – Campinas, SP. (email: roberto@cnptia.embrapa.br);**

<sup>4</sup> Administração, M.Sc., **Embrapa Informática Agropecuária, C. Postal 6041, 13.083-970 – Campinas, SP. (email: ivan@cnptia.embrapa.br).**

de simulação de P para as culturas consideradas com um sistema GIS (Geographic Information System). Numa segunda etapa, pretende-se: (a) fornecer um mecanismo para a disponibilização, via acesso remoto pela Internet, dos dados experimentais (agora organizados) e armazenados em um SGBD centralizado na Embrapa/CNPTIA; (b) validar e, se necessário, ajustar os modelos de P para as 3 culturas consideradas; e (c) integrar um sistema GIS (possivelmente o SPRING) ao DSSAT para fins de planejamento agrícola regional.

### *Infra-estrutura de Banco de Dados interagindo com GIS, DSSAT e AIDA/SAS*

A infra-estrutura geral para armazenamento de dados experimentais em banco de dados visa garantir a integridade dos dados experimentais e facilitar sua recuperação e análise através de: (a) pacotes de análise estatística que suportem a comunicação com bancos de dados, como por exemplo o SAS ou AIDA, e/ou (b) por meio de interface junto ao sistema de simulação DSSAT. A Figura 1 apresenta um esquema geral da idéia desta parte do projeto, levando-se em conta sua inserção na Internet, o qual terá uma estrutura "genérica" no sentido de ser independente do produto agrícola ou podendo incluir uma abordagem de sistema agroflorestal.

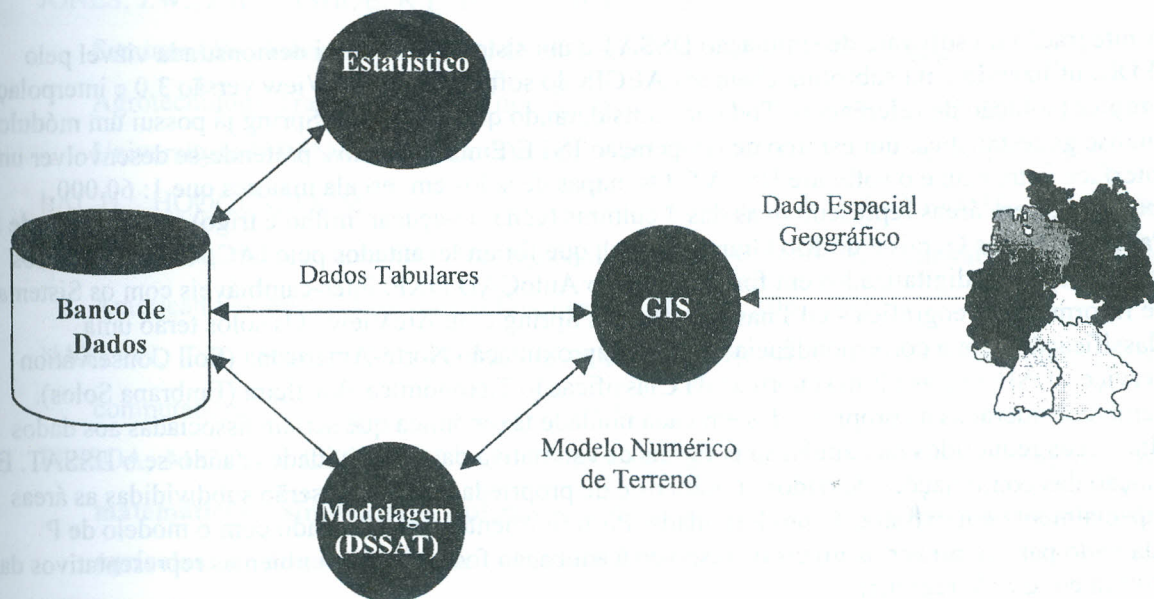


**Figura 1.** *Arquitetura lógica do sistema de gerenciamento do banco de dados e suas interfaces com outros softwares na estação de trabalho central e na Internet.*

O software utilizado para o desenvolvimento da base de dados experimentais deverá ser centralizado em uma Estação de Trabalho Modelo Ultra Server 2, a qual será servidora de SGBD. Além do SGBD, a servidora conterá o pacote estatístico SAS ou AIDA; o sistema de simulação DSSAT e o GIS-SPRING. O SGBD será composto pelo software Oracle Server / Workgroup, versão 8.0, e por pacotes de desenvolvimento/ferramentas case. Além

desta servidora, existirá também uma outra para HTTP, a qual também se encontrará no CNPTIA. Cada parceiro do CNPTIA terá acesso a uma interface HTML para inserir/atualizar a base de dados do CNPTIA. Além de estar disponível na internet, a tecnologia HTML/CGI/Java também viabiliza a entrada de novos parceiros sem qualquer ônus de compra de software e treinamentos dispendiosos.

Na figura 2 a seguir, tem-se uma melhor visualização da integração entre o banco de dados, o pacote estatístico (AIDA), o GIS e o software de simulação (DSSAT).



**Figura 2.** Arquitetura lógica do sistema de gerenciamento do banco de dados e suas interfaces com outros software na estação de trabalho central.

### *Simulação e Modelagem da dinâmica de fósforo no sistema solo-planta*

O uso de modelos matemáticos preditivos para a produtividade das culturas ou mesmo para as dinâmicas de carbono e nutrientes pode estimar com confiança e segurança os valores medidos (Jones et al., 1987), trazendo associado um maior conhecimento dos processos biogeoquímicos dos elementos nos compartimentos ambientais e a integração de informações, favorecendo uma análise mais global. Tais modelos são simplificações do sistema real e utilizam-se de linguagem matemática, constituído por componentes de sistema, variáveis, parâmetros estruturais e relações funcionais (Naylon et al., 1977). Todavia, a eficiência do modelo é função direta de dados medidos com precisão para sua perfeita calibração e ainda conhecer-se os limites de validade de cada parâmetro e as associações entre as variáveis (Pessoa et al., 1997).

Os modelos de simulação da produção vêm se tornando largamente utilizados, em parte atribuído aos numerosos testes nos quais vêm demonstrando as suas capacidades de estimar a produtividade agrícola, balanço de nitrogênio no sistema solo-planta e de carbono e água no solo em diferentes condições de manejo (Jones et al., 1987; Rengel, 1993).

### *Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e Planejamento Regional*

A associação de modelagem e simulação do DSSAT com GIS comercial mostrou-se uma ferramenta valiosa na análise de consistência de dados georeferenciados e o mapeamento de variáveis de interesse agrícola (Thornton, 1995). Um exemplo de trabalho mais detalhado na utilização da integração GIS/BEANGRO-DSSAT em planejamento agrícola foi conduzido em Porto Rico, visando a analisar a produtividade regional, por Lal et al. (1993). Os autores conseguiram obter, por simulação do modelo BEANGRO e baseado na variabilidade de solo e de balanço de água, os seguintes resultados ou produtos: identificação e seleção das melhores práticas de manejo para cada cultivar, épocas de plantio adequadas, estratégias de

irrigação e a estimativa de produtividade em diferentes cenários de manejo. O sucesso do estudo preliminar mostrou que uma gama de aplicações, considerando um modelo específico do DSSAT e uma cultura/cultivar, pode ser estendido para planejamento regional e análise de produtividade se associado às características inerentes aos sistemas GIS.

### ***Planejamento Regional: interface GIS e Simulação (via DSSAT)***

A integração do software de simulação DSSAT e um sistema GIS já foi demonstrada viável pelo IFDC, utilizando uma subrotina chamada AEGIS do software GIS ArcView versão 3.0 e interpolação simples (solução de referência). Todavia, considerando que o software Spring já possui um módulo de análise geoestatística, um esforço de cooperação INPE/Embrapa-Solos, pretende-se desenvolver uma interface entre este e o software DSSAT. Os mapas de solos em escala maiores que 1: 60.000, localizados em áreas representativas das 3 culturas (cana-de-açúcar, milho e trigo), nos Estados de São Paulo, de Minas Gerais e do Rio Grande do Sul, que foram levantados pelo IAC, IAPAR e outros Institutos, serão digitalizados em formato padrão AutoCAD DXF, inter-cambiáveis com os Sistemas de Informação Geográfica - GIS nas plataformas Spring e/ou ArcView. Os solos terão uma classificação com a correspondência entre a 7ª aproximação Norte-Americana (Soil Conservation Service - USDA) e as últimas normas da Classificação Taxonômica Brasileira (Embrapa Solos). Serão consideradas as propriedades em cada unidade taxonômica que seriam associadas aos dados climáticos requeridos na simulação para fins de estimativa da produtividade usando-se o DSSAT. Em função das combinações de dados climáticos e de propriedades de solo serão subdivididas as áreas espacialmente em extratos de produtividade. Posteriormente, será simulado com o modelo de P adaptado para se prever os níveis de resposta à adubação fosfatada em ambientes representativos da cultura em escala regional.

### ***Potencialidades da Linha de Pesquisa***

Através do desenvolvimento do projeto na referida linha de pesquisa, espera-se obter:

- Uma organização, ampliação e síntese de conhecimentos da dinâmica de fósforo no sistema solo-planta para o uso racional de fosfato na família de gramíneas, o que poderia ser pensado no caso do uso dessa ferramenta em sistemas agroflorestais;
- tornar disponível aos diversos Centros de Pesquisa da Embrapa e do SNPA produtos de software de baixo custo e configuráveis às suas necessidades de pesquisa em recursos naturais para:
  - ✓ gerenciamento de informações experimentais agrícolas e das condições edafoclimáticas,
  - ✓ gerenciamento de informações georeferenciadas de recursos naturais,
  - ✓ sistema de suporte a decisão para uso de fertilizantes,
  - ✓ ferramenta de GIS integrada a modelagem de produção agrícola de gramíneas;
- tornar disponível ao setor de fertilizante um produto de software para planejamento regional de fertilizantes fosfatados, melhorando a sua eficiência de uso do P em culturas e que poderia ter aplicação semelhante em sistemas agroflorestais, de forma a contribuir para o aumento da qualidade e redução dos custos dos produtos da cadeia produtiva ao qual esse setor está inserido.

E seu desenvolvimento está, basicamente, centrado em três aspectos:

- a organização de uma base de dados experimental;
- o desenvolvimento/adaptação/calibração de um modelo de P para as culturas (Ex: milho, cana-de-açúcar e trigo) e com possibilidade de testar em agrofloresta, mas requer um estudo detalhado dos recursos do Software Stella Research que associa-se o modelo WaNuLCAS; e
- a integração entre o software de modelagem/simulação e GIS, para fins de planejamento regional.

### ***Considerações finais***

Na virada do milênio, qualquer segmento de sociedade agropecuária florestal terá que se preocupar com a adoção de técnicas de informação para otimizar a sua relação custo/benefício e visualizar de forma mais abrangente a sua cadeia produtiva. Dentre as tecnologias de informática que possibilitam a maior competitividade, encontram-se o uso da simulação e a modelagem dos sistemas agroflorestais,

as quais podem ter ainda o seu valor agregado (relativo) aumentado com a associação com outras técnicas de informação (banco de dados, GIS) que é um campo aberto no Brasil.

### **Referências bibliográficas**

- JONES, J.W.; J.W. MISHOE; K.L. BOOTE Introduction to simulation and modeling. In: the Seminar / Workshop on Computer Crop Simulation and Data Base Management for Agrotechnology Transfer, coord. Food & Fertilizer Technology Center, national Chung Hsing University and IBSNAT/USAID. Taiwan, 1987. 21p. (FFTC. Technical Bulletin, 100).
- LAL, H.; HOOGENBOOM, G.; CALIXTE, J.P.; JONES, J.W.; BEINROTH, F.H. Using crop simulation models and GIS for regional productivity analysis. **Transactions of The ASE**, American Society of Agricultural Engineers, v.36, n.1. 10p. 1993.
- NAYLON, T.H.; BALINTFY, J.L.; BURDICK, D.S.; KONG, C. Técnicas de simulação em computadores. São Paulo: Vozes, 1977. 402p.
- PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI, A.J.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Jaguaríuna: Embrapa – CNPMA, 1997. 83p. (Embrapa – CNPMA. Documentos, 8).
- RENGEL, Z. Mechanistic simulation models of nutrient uptake: A review. **Plant and Soil**, v. 152: 161-173. 1993.
- THORNTON, P.K. Improving management and impact of fertilizers with modelling. In: **Proceedings**, 24<sup>th</sup> International Colloquium of the International Potash Institute, Chiang Mai, Thailand, 21-24 February, 1995.