

MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE E APOIO À DECISÃO EM AGROSSISTEMAS

SIMULATION MODELS TO ANALYSIS AN SUPPORT DECISION IN AGRISYSTEMS

Fábio César da Silva

Alessandra Fabíola Bergamasco

Embrapa Informática Agropecuária

Laércio Luís Vendite

Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica - UNICAMP

RESUMO

No trabalho apresenta-se uma visão crítica do uso da modelagem e simulação em culturas como uma ferramenta de análise e de apoio à decisão para os pesquisadores. Aborda-se a modelagem aplicada à produção vegetal, que vai da modelagem mais simples às técnicas mais complexas, para mostrar aos usuários que utilizam essas ferramentas em suas pesquisas, algumas diretrizes básicas para sua implantação. Discute-se o emprego de modelos como ferramenta de análise, a necessidade de plataforma computacional adequada e sua integração coerente com banco de dados, os quais contenham as informações experimentais e edafo-climáticas mínimas requeridas para rodá-los, exemplifica-se com a cultura de trigo. Finaliza-se com uma análise de risco e pontos de revisão técnica e gerencial para projetos terem sucesso em pesquisa na área.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem numérica, crescimento vegetal, dinâmica de nutrientes e sistemas de apoio à decisão

INTRODUÇÃO

No Brasil, o aparecimento dos primeiros modelos de simulação na agricultura data do início da década de 70. Na Embrapa, no antigo Departamento de Métodos Quantitativos –DMQ, de 1974 a 1977, exemplos bem sucedidos de modelos foram desenvolvidos, como do Anticarcia Gemmatilis na Soja e o de crescimento de rebanho bovino de corte. Entretanto, ir-se-á abordar a questão do desenvolvimento de modelos de simulação aplicada à produção vegetal, que vai da modelagem mais simples às técnicas mais complexas, para mostrar aos usuários que utilizam essas técnicas em suas pesquisas, algumas diretrizes básicas de apoio para a estruturação de sistemas de suporte à decisão que poderiam ser aplicadas aos sistemas de produção vegetal e os cuidados básicos requeridos, o

que seria um ponto de partida para discussões maiores sobre o tema.

Vários são os aspectos estratégicos a serem considerados na organização de projetos em Modelagem e Simulação (M&S) em sistemas de produção vegetal.

Como primeiro aspecto, será apresentada uma breve visão sobre sistemas de suporte à decisão e as ferramentas que os integram, os pontos críticos que estão associados à organização e implantação desses sistemas e conceitos envolvidos (Geographic Information System-GIS, ferramentas para modelagem e simulação, banco de dados). O conceito de sistema utilizado é o de uma coleção de componentes interrelacionados, selecionados para estudar uma parte do mundo real e que tem no modelo a sua representação matemática e na simulação a sua resolução numérica.

O segundo aspecto, brevemente discorrido pelos autores, englobará alguns conceitos de modelos, aqueles

mais usados na pesquisa para sistemas de produção vegetal, utilizando-se de técnicas de modelagem e simulação. Enfocar-se-á a necessidade do estabelecimento dos processos-chave do ciclo de nutrientes e a calibragem de modelos de sistemas de produção vegetal mais representativos.

Como terceiro aspecto, abordar-se-á sumariamente uma plataforma computacional mais ampla e pontos de revisão de projetos nessa área, aspectos a serem considerados na sua implementação e suas vantagens e limitações. Este tópico compreende os aspectos de banco de dados, as ferramentas de software para simulação e a possibilidade de integração com GIS.

O quarto aspecto abordará os modelos em uso em crescimento e produção de culturas, um exemplo para cultura de trigo.

Finalmente, como último aspecto, será colocada uma série de princípios básicos necessários para novos projetos com enfoque de suporte à decisão, bem como os benefícios que este sistema possa trazer à Embrapa, Unicamp-IMECC, SNPA, e ao agricultor/ produtor.

SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO

Os sistemas de suporte à decisão são um conjunto de conhecimentos de especialistas formalizados como modelos, coerentes e integrados entre si, que possibilitam o estudo de sistemas reais complexos. Estes sistemas de suporte possibilitam a criação de cenários, estudos de previsão e avaliações condicionais de impacto de uso de recursos naturais (SILVA et al., 1998). Para se obter este conjunto, são necessários, além de modelos com integração coerentes, banco de dados contendo informações experimentais e edafo-climáticas mínimas requeridas pelo modelo a ser empregado (fig. 1).

Entretanto, a organização e implantação de um sistema de suporte à decisão têm seus pontos críticos que seriam:

Definição do objetivo: equilíbrio entre o amplo e difícil e o restrito e fácil; pois podem ocorrer objetivos como avaliar o impacto ambiental de um sistema de

produção que tem suas necessidade e parâmetros a serem medidos ou enfocando a necessidade de aumento de produtividade e redução de custos da produção vegetal. Além disso, em ambos os casos (objetivos) tem-se uma abordagem interdisciplinar e na maioria das vezes interinstitucional;

Organização das informações: dados mínimos (insolação, temperaturas e precipitação diária, por exemplo) que serão requeridos na montagem do modelo ou de seu uso, a exemplo do modelo CERES para a Cultura de Trigo embutido em um software DSSAT (fig. 1);

Plataforma computacional: são necessárias interfaces de comunicação que permitam que os dados experimentais e climáticos sejam lidos pelo software de modelagem e também a transferência de resultados para um planejamento regional via GIS; é fundamental uma avaliação criteriosa de ambiente computacional e uma análise do sistema como um todo;

Integração de modelos: é fundamental que exista uma adequada complementaridade entre os modelos e a comunicação entre os seus dados; e,

Coerência de escala: mesmas unidades, grandezas físicas, etc.

A utilização de modelos matemáticos para simulação permite a investigação de cenários alternativos e a análise de fatores importantes para o custo da produção, tais como: nutrientes (fertilizantes), água, preservação de recursos naturais, entre outros. Isto possibilita que os conhecimentos gerados em um local sejam aplicados às diferentes localidades através de simulação. E, ainda, permite estimar a produção, constituindo-se numa ferramenta para recomendação independente de localização, estação do ano, planta, cultura, variedade ou manejo.

Sistemas baseados em modelos matemáticos de simulação e utilizados em conjunto com GIS constituem-se numa ferramenta poderosa para tomada de decisão no planejamento regional e também na agricultura de precisão.

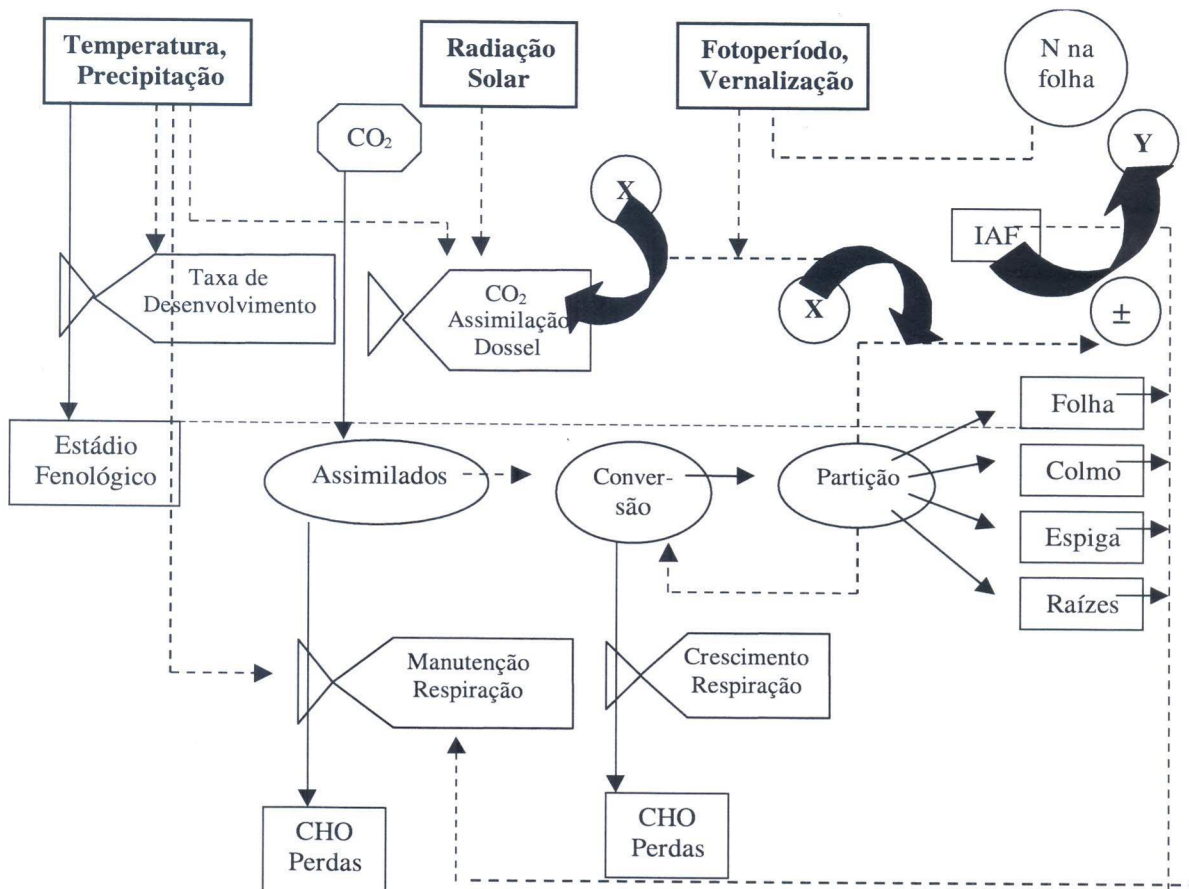


Figura 1 - Esquema do modelo CERES para a cultura do Trigo (DSSAT)

DEFINIÇÃO DO OBJETIVO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO UTILIZANDO MODELOS

Há alguns objetivos básicos, isolados ou associados em distintas escalas com as adequadas unidades, como: aumentar a produtividade do sítio, obter o menor impacto ambiental do sistema e/ou maior retorno econômico, entre outros.

Para desenvolver o potencial da utilização de modelos matemáticos integrados para simulação, nos sistemas de produção vegetal, associados a GIS e outros recursos computacionais, são necessários recursos materiais e humanos. De forma geral, os modelos matemáticos para simulação são específicos, merecendo uma abordagem especial e focada nas suas necessidades.

Contudo, projetos de pesquisa na linha de modelagem e simulação apresentam muitos pontos em comum na representação de processos de plantas (fotossíntese, respiração, interceptação de luz, entre outros), em particular o modelo Cropsim-Wheat orientado a processos foi usado para simular o crescimento e o desenvolvimento do trigo (HUNT; PARARAJASINGHAM, 1995), como se nota no exemplo do trigo na figura 1. As características físicas e químicas do solo no local do experimento e os coeficientes genéticos do cultivo usado devem ser previamente determinados. A informação obtida deve ser alimentada ao arquivo de entrada de dados do modelo Cropsim-Wheat, pois os resultados de cada ensaio fitotécnico no campo deve ser vinculado a um ambiente em que foi conduzido: clima e solo.

Do ponto de vista climático, as variáveis a serem medidas seriam temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), a

precipitação (mm) e a radiação solar global (MJ/m²/dia) registradas diariamente em Estação Agrometeorológica local associada às suas coordenadas geográficas durante todo o ciclo da cultura. Essas informações serão usadas na simulação do crescimento e desenvolvimento fenológico do trigo. Os dados ambientais mínimos requeridos nos modelos, a organização do banco de dados, a georeferenciação ou não e outros recursos computacionais podem, inclusive, ser integrados ou, em parte, compartilhados.

O modelo Cropsim-Wheat opera com passo diário e inclui sub-rotinas para simular o crescimento, a fenologia, o balanço hídrico e a disponibilidade de nitrogênio no solo. Outro fator importante a destacar no modelo Cropsim-Wheat é a simulação da área foliar e do número de folhas existentes a cada dia do ciclo da cultura do trigo. Como mostrado na Figura 1, as taxas de produção de matéria seca, área foliar e desenvolvimento fenológico são calculadas e integradas no tempo para gerar a quantidade de matéria seca produzida em uma estação de crescimento.

O uso desse conjunto de sistemas integrados permitirá oferecer suporte ao processo de decisão do setor agrícola. A título de discussão apresentou-se uma linha de modelagem matemática para simulação em sistemas solo-planta para uso eficiente de fertilizantes, cujos objetivos e benefícios potenciais poderiam ser:

- síntese e ampliação de conhecimento de pesquisa na dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta para uso racional de fertilizantes, em especial na família de culturas e a manutenção da sua capacidade produtiva de agrossistemas através da análise de interações genótipo-ambiente e integração entre disciplinas e organização de dados;
- tornar disponível ao setor de fertilizante um produto de software para o seu planejamento regional, melhorando sua eficiência como fornecedor de nutrientes no cultivo de plantas, aumentando a qualidade do produto agrícola e reduzindo custos de produção;
- disponibilizar um produto de software para gerenciamento de informações geográficas associadas ao sistema de modelagem de produção e cultura permitindo análise em diversos cenários de recursos naturais para fins de suporte na tomada de decisão.
- o estabelecimento dos processos-chave de sistemas de produção vegetal, enfocando-se aspectos de crescimento de plantas e o balanço de nutrientes envolvidos, manejo do solo (comparando-se a evolução de modelos convencionais para o plantio na palha), entre outros aspectos; a calibragem de modelos de sistemas de produção vegetal específicos usando os já existentes e utilizando-se de técnicas de geração de cenários para

sistemas de produção e/ou analisar parte deles. Entretanto, esta abordagem amplia o objetivo e insere novas variáveis no sistema, tornando-o mais difícil de ser alcançado e exigindo maior esforço humano e financeiro. Não se pode perder de vista que tais modelos devem preocupar-se em possuir indicadores de sustentabilidade ambiental.

Em escala maior, a aplicabilidade da modelagem e simulação ocorre na geração de cenários nas cadeias produtivas, que permite a detecção de pontos de “estrangulamento” da produção, associado tanto aos melhores encadeamentos de operações unitárias quanto aos aspectos econômicos.

CONCEITOS E TÉCNICAS DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Os ganhos de produtividade de sistemas de produção vegetal podem ser obtidos implementando-se as tecnologias disponíveis que não estão sendo adotadas de forma eficiente no Brasil. Por outro lado, grande parte dos trabalhos da pesquisa em solos e nutrição de plantas estão dissociadas da análise econômica, cujo conjunto pode ser expresso na formulação de modelos globais de simulação, constituindo-se numa ferramenta importante para pesquisadores e produtores. As particularidades do sistema de produção brasileiro e a falta de dados experimentais para a alimentação dos modelos generalistas justificam o desenvolvimento de um modelo conceitual que se adapte às nossas condições.

Uma característica básica dos sistemas agropecuários que os diferem de outros (sistemas industriais, por exemplo) é o fato de organismos vivos, animais e plantas estarem diretamente relacionados ao processo produtivo. Isso introduz um grau maior de incerteza, pois o número de fatores aleatórios torna-se elevado (TATIZANA, 1995). Construções de modelos de simulação visam descrever todo esse sistema ao longo do tempo englobando características biológicas que nele interferem.

Modelo matemático: é um sistema de equações obtido da análise e abstração de situações-problema com a escolha devida das variáveis e suas relações. Diversos tipos de modelos podem ser utilizados na pesquisa de sistemas, mas uma distinção básica pode ser feita entre aplicações descritivas e normativas (Wright, 1971). Para propósitos descritivos, o modelo age como uma estrutura básica para a identificação dos componentes do sistema e suas relações. Os modelos normativos por outro lado, são dedicados à resolução de problemas e, portanto, requerem o uso de funções objetivas para avaliar regras de decisão. Em termos de análise de problemas da área

das Ciências Biológicas, a modelagem recebe o nome de Biomatemática.

A **simulação**: é uma técnica matemática, baseada no método de Monte Carlo, destinada a resolver problemas cuja solução analítica é difícil ou mesmo impossível. Em geral, a técnica da simulação não produz resultados exatos, mas produz boas aproximações quando há dificuldade ou mesmo impossibilidade de se conseguir a solução analítica do problema (é uma alternativa do tipo “second best”). Um modelo de simulação tem um caráter descritivo, com maior ênfase ao desenvolvimento de um sistema que se adapte à realidade do que a um processo de cálculo que nos leve a um ponto ótimo. Lembrando que nenhum objeto existente na realidade pode ser explicado corretamente examinando suas partes independentemente, é importante ser feito um estudo global de todas as partes de um sistema

A simulação permite ampliar a análise de projetos nos casos mais gerais, incorporando a dimensão de risco de forma explícita. Em vez de medidas determinísticas de resultados de exploração, ela permite gerar pontos no espaço bidimensional retornos-

probabilidades, de modo a indicar o grau de confiança associado aos diferentes níveis de rentabilidade de um projeto. Possibilita ainda, o estudo da influência de diversas variáveis no sistema de produção a um custo baixo e em um tempo reduzido (TATIZANA, 1995).

Técnica de Modelagem: um modelo de simulação inicia-se pela especificação da porção do mundo real que será estudada, identificando os pontos principais do sistema e suas inter-relações, num mundo esquemático ou quantitativo. Definido o sistema, o próximo passo consiste no estudo e caracterização de cada item identificado no modelo a ser adotado. Variáveis como ganho de peso, crescimento de pastagens, taxa de lotação, número e épocas de estações de monta, técnicas de manejo de pastagens, entre outras são estudadas, visando à compreensão de sua importância e comportamento ao longo do tempo, pois se conseguirmos selecionar as variáveis essenciais do fenômeno estudado, o modelo matemático que o simula poderá levar a soluções bastante próximas daquelas esperadas na realidade. Para ilustrar o processo dinâmico da modelagem de um sistema, pode-se basear no diagrama esquemático (fig. 2).

DIAGRAMA DA MODELAGEM

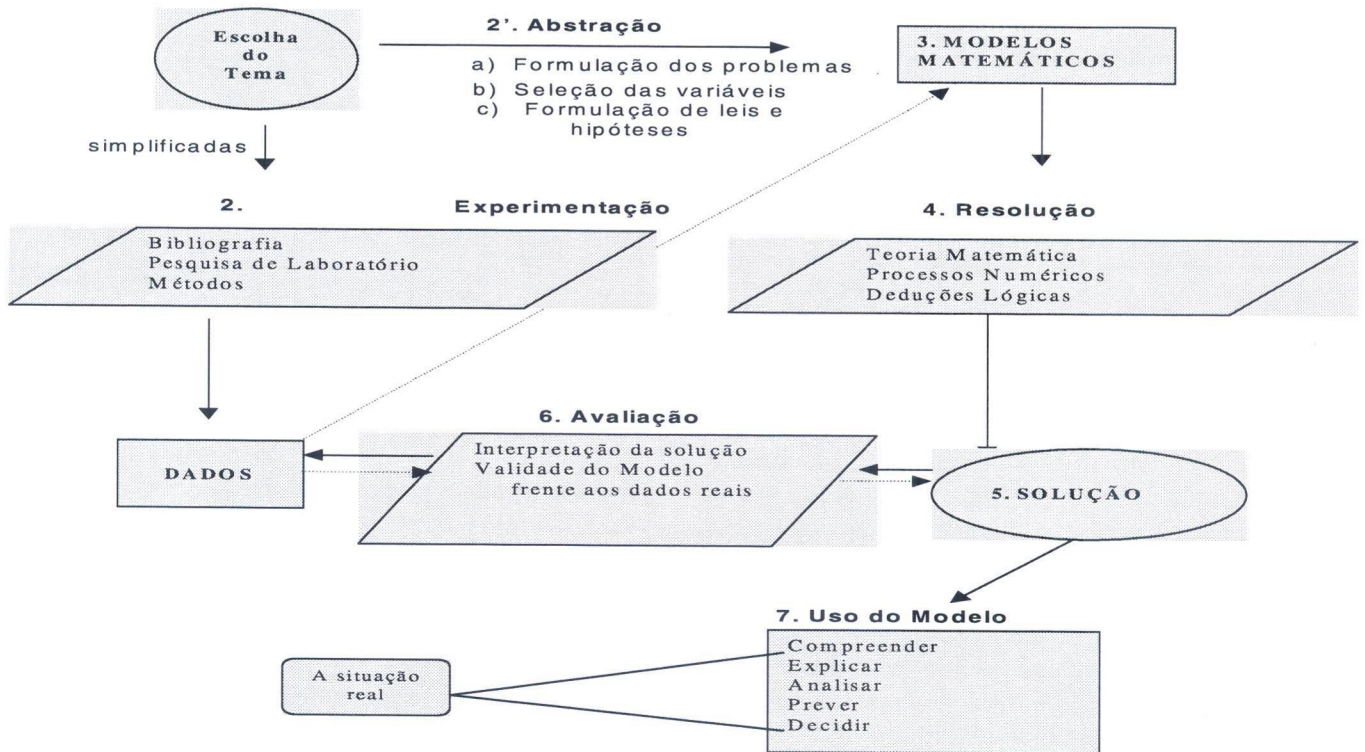


Figura 2 - Fluxograma lógico de passos requeridos na modelagem de sistemas agropecuários
Fonte: Bassanezi e Ferreira Junior, 1988

Realiza-se, então, a coleta de dados na literatura ou, ainda, através de entrevistas e pesquisas executadas com os métodos da amostragem aleatória. Uma característica de um modelo de simulação é a revisão constante de fases anteriores de acordo com o andamento da fase atual. O comportamento das variáveis no modelo devem se aproximar ao máximo de seus comportamentos numa situação real.

Definido o comportamento de cada variável e suas inter-relações, deve ser construído um programa computacional com base no modelo anteriormente definido, cuja etapa é chamada de resolução. Quando os argumentos conhecidos não são eficientes, novos métodos podem ser criados, ou então o modelo deve ser modificado, pois não existe um modelo perfeito, quando se quer representar matematicamente a realidade, ele deve sempre ser melhorado.

Construído o modelo, é verificada a consistência dos dados gerados por ele. Esta é a etapa da validação, que é uma forma subjetiva de avaliação, em que é verificada a capacidade descritiva e preditiva do modelo, através de comparações entre a solução obtida via resolução do modelo e os dados reais. O grau de aproximação desejado será o fator preponderante na decisão, e quando o modelo não é aceito, ele deve passar pela etapa de modificação, pois o que dinamiza a modelagem é a busca do aperfeiçoamento dos modelos propostos. Feito isso, o modelo é executado (aplicação) para a situação determinada, sendo analisados os seus resultados, a partir dos quais são feitas previsões, visando tanto tomar decisões quanto explicar e entender o fenômeno em uma linguagem universal.

Uma grande dificuldade no desenvolvimento de modelos de simulação no Brasil é a inadequação entre os resultados experimentais e os exigidos pelos modelos. Apesar do elevado desenvolvimento científico na área, existe uma deficiência em dados que possam embasar a formulação de alguns processos básicos em modelos de simulação.

PLATAFORMA COMPUTACIONAL

Uma 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 por meio de interface desenvolvida para permitir a comunicação entre o banco e o software de simulação. A Figura 3 apresenta um esquema inicial genérico do projeto. Note, na Figura 3, que se permitiria prever a comunicação de dados via Internet, objetivando diminuir distâncias entre os coletores de dados e o banco físico. O uso de modelos matemáticos preditivos para o crescimento e a produtividade de forrageiras deve considerar *a priori* os aspectos climáticos e de solo. Na evolução do modelo deve-se agregar aspectos das dinâmicas de carbono e nutrientes e na seqüência, poder-se-ia introduzir a variável vegetal. Todavia, dado o modelo, para que se obtenha estimativas confiáveis e seguras, é fundamental obter os valores medidos no campo que melhor associem os conhecimentos dos processos no sistema solo-planta e seus compartimentos ambientais e a integração de informações.

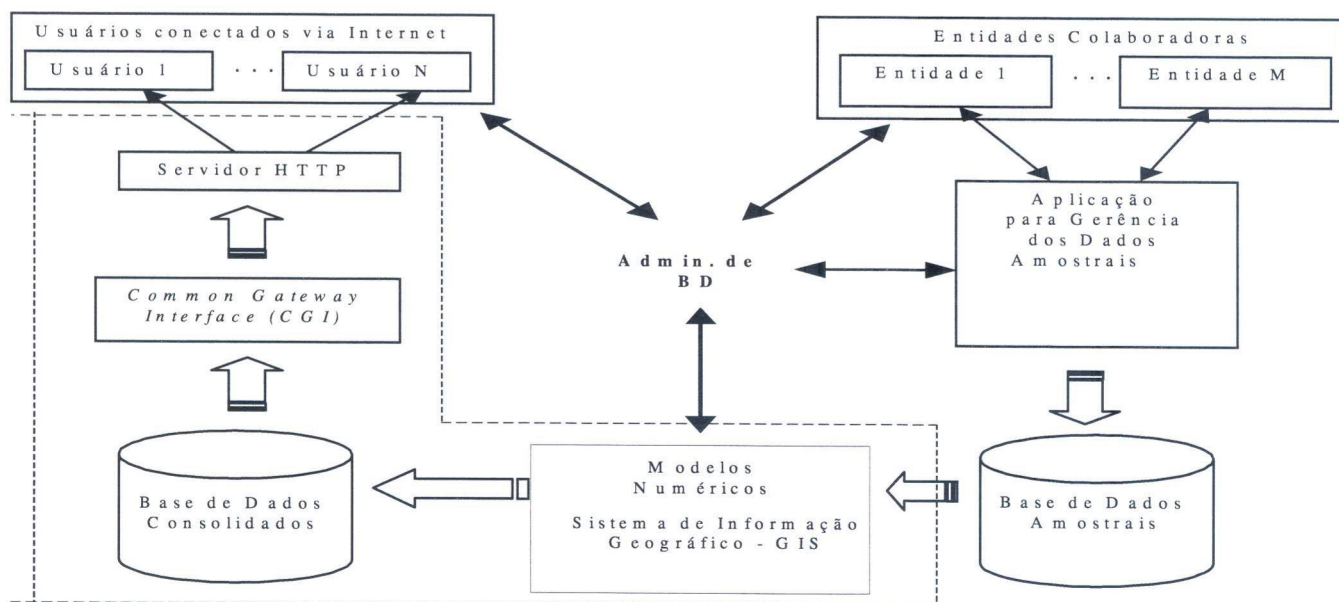


Figura 3 - Arquitetura lógica de um sistema de gerenciamento do banco de dados e suas interfaces com outros produtos de software na estação de trabalho central (SILVA et al., 1998)

Não deve ser esquecido que tais modelos são simplificações do sistema real e utilizam-se de linguagem matemática, constituídos por componentes de sistema, variáveis, parâmetros estruturais e relações funcionais. Entretanto, é necessário sempre considerar que a eficiência do modelo é função direta de dados medidos com precisão para sua perfeita calibragem e, ainda, do conhecimento dos limites de validade de cada parâmetro e as associações entre as variáveis. Portanto, não adianta muito para a organização do conhecimento em sistemas de produção vegetal apenas colecionar dados sem considerar o modelo que se pretende usar e/ou construir.

Um modelo de sistema de produção vegetal encontra-se descrito no próximo item. Existem aqueles que possuem como grande vantagem a simplicidade de uso das relações diretas entre os componentes dos sistemas, o que ocorre de forma intuitiva. Porém descreve-se outros mais complexos que poderiam exportar dados de saídas para sistemas de informação geográficos.

A associação de modelagem e simulação com GIS comercial constitui-se numa ferramenta valiosa na análise de consistência de dados georeferenciados e no mapeamento de variáveis de interesse da produção vegetal. A integração do software de simulação e um GIS é muito conveniente para planejamento regional. Deve ser lembrado que cada uma das partes do sistema teria as suas próprias vantagens inerentes relacionadas aos seus aspectos funcionais. A seguir, tem-se uma descrição dos componentes do sistema modelagem-GIS-banco de dados:

SGBD: Permite armazenar dados experimentais, georeferenciados ou não, dados ambientais e dados consolidados (resultantes do processamento da simulação no DSSAT). O motivo pelo qual foi adotado o SGBD se destacam: rápido acesso às informações, redução de redundância e inconsistência de dados, compartilhamento de dados para plataformas georeferenciais, facilidade de manuseio e garantia da integridade de informação;

Modelagem e simulação (DSSAT ou outro): Permite sintetizar conhecimento de pesquisa na forma de modelos de culturas e organizando dados experimentais, integrando-se aspectos de genótipo de plantas às condições ambientais e permitindo simular produtividade em diversos cenários. Tal simulação permite um

direcionamento de práticas agrícolas (culturais, fertilizantes, irrigação, entre outras) e orientar a sua política de investimentos nas diversas culturas. O sistema permite organizar e armazenar os dados experimentais, incorporando suas informações aos modelos matemáticos de colheita, possibilitando ao usuário simular efeitos de tratos culturais e a interação genótipo-ambiente, permitindo simular situações na forma gráfica ou numérica para análise da avaliação gerencial.

Sistema de Informação Geográfica (GIS): Possibilita a integração de uma única base de dados às informações espaciais de uma área de produção agrícola, utilizando-se de algoritmos de manipulação. Pode gerar mapas derivados deste conjunto; favorece a consulta, a recuperação e a visualização dos dados georeferenciados, possibilitando selecionar, associar, filtrar e combinar na forma de polígono, exibindo mapas temáticos digitais (produção, resposta ao fertilizante, entre outros) conforme o interesse gerencial que tem grande relevância na agricultura de precisão e planejamento regional.

Internet: Oferece os meios físicos para a transferência de dados entre instituições geograficamente distantes. Também permite que consultas a banco de dados remotos, através de tecnologias como Common Gateway Interface (CGI), bem como resultados analisados por vários sistemas, sejam realizadas e o resultado apresentado em uma interface amigável (página HTML).

MODELOS ENVOLVENDO PRODUÇÃO FITOTÉCNICA

O crescimento de plantas é um processo complexo, que sofre a influência de vários fatores, sendo alguns, como os climáticos, de difícil previsibilidade. O conhecimento das inter-relações entre os fatores climáticos, ambientais e o potencial genético das forragens ainda precisa ser bastante aprimorado para a construção de um modelo matemático generalista que realize a previsão da produção vegetal nas mais diversas condições (zoneamento climático e vocativo da área).

A forma mais usual para a simulação de produção de pastagem e de culturas tem sido o uso de equações de regressão linear que ajustem resultados experimentais. Aplicados em modelos generalistas, essas equações empíricas freqüentemente produzirão resultados imprecisos, devido à existência de condições diferentes das quais foram estabelecidas, o que leva os

autores a afirmarem a frase bem conhecida: “os resultados experimentais são válidos para as condições locais”. Estão sendo construídos modelos abrangentes e flexíveis, com estruturas de dados que permitem melhorar suas estimativas a medida que se obtém um conhecimento melhor sobre as combinações de categorias dos fatores que afetam a produção. Na realidade, os modelos devem ser orientados a processos ou mecanismos chave da cultura, o que ocorre nos modelos existentes no DSSAT, e que pode ser visualizado na Figura 1.

ANÁLISE DE RISCO E PONTOS DE REVISÃO TÉCNICA E GERENCIAL

Avaliação de Riscos

Experiência na tecnologia

Na fase de implantação de um banco de dados (BD) experimental, dados climáticos e resultados submetidos a outros softwares e armazenados são necessários, mas um risco a ser calculado é se houver inexperiência da tecnologia do BD, o que deve requerer gastos adicionais em treinamentos e em consultoria.

Tamanho do projeto

Em projetos grandes é, sempre que possível, recomendado a formação de um conselho gestor na fase de especificações de requisitos junto aos usuários para a definição de regras e procedimentos do projeto, pois o número elevado de usuários poderá gerar conflitos na definição de regras e procedimentos do projeto, o que será contornado em parte pelo comitê gestor.

Estrutura de Procedimentos

a) Implantar e conduzir pelo menos 2 a 3 experimentos repetidos com a mesma cultura agrícola e observar as necessidades de medidas para os modelos de nutrientes em construção ou simplesmente em uso; se os experimentos previstos não forem executados ou faltarem dados requeridos pelo modelo no software usado, será possível desenvolver e/ou ajustar os modelos de dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta nas culturas agrícolas, assim como em sua validação.

b) Ter selecionado os modelos de dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta, em regiões representativas das culturas agrícolas em área-teste, para a aplicação da integração do modelo de nutrientes do DSSAT ao GIS. Conseguir áreas e produtores dispostos a validar o produto de software na sua prática do dia-a-dia pode

ser uma dificuldade, pois é necessário ter imagens de satélite ou mapas de produtividade locais para testar a interface entre modelos e GIS que efetivamente funcione na prática e não haja problemas de compatibilidade entre software (GIS e DSSAT);

c) Ter validado o ambiente do sistema gerenciador com a base de dados e realizada a sua análise funcional através de software estatístico e de modelagem, DSSAT, junto aos parceiros, pois existe uma diferença de conhecimento entre o profissional de informática e os usuários, o que pode levar a uma complexidade na utilização do software, requerendo treinamentos direcionados aos usuários para uma interface mais amigável com o sistema.

Revisão Técnica

A modelagem do banco de dados experimental e ambiental:

Definir regras e procedimentos junto ao usuário na fase de especificações de requisitos para criar uma modelagem adequada para o banco de dados que possa ser utilizado para fins de modelagem e que acesse outros bancos de dados (clima e solos, por exemplo).

Avaliação do modelo matemático de dinâmica de nutrientes para as culturas:

Eliminar as inconsistências do modelo antes de sua validação, ajustes e desenvolvimento final, o que implica teste de partes do modelos, pois os modelos em sua maioria foram concebidos para condições temperadas e visando à adubação corretiva em área total.

Integração do fluxo de informação entre os sistemas:

Avaliar o grau de complexidade de comunicação das informações entre os sistemas em especial com o banco de dados que recebe as informações experimentais e envia para os outros produtos de software que recebem os dados para serem processados e retornados com resultados consolidados.

Compatibilidade entre os produtos de software:

Verificar a compatibilidade na importação e exportação de dados entre os diversos produtos de software.

Revisão Gerencial

Acompanhamento dos níveis de execução dos experimentos agrícolas para fins de modelagem:

Verificar se o cumprimento das atividades programadas

está de acordo com o cronograma proposto e se foram medidos os parâmetros requisitados pelo modelo de nutrientes do software em uso.

Verificação do fluxo de informações experimentais para o B.D.:

Verificar se os parceiros estão enviando os dados experimentais para o cumprimento das atividades de acordo com um cronograma.

Seleção adequada de áreas para testes pilotos:

Verificar se as áreas disponíveis para a simulação regional são realmente representativas para a implantação de testes pilotos na integração do modelo de nutrientes associado ao GIS.

Acompanhamento dos beta testes para o B.D. e suas interfaces.

Acompanhar os resultados dos beta testes verificando a integridade dos dados entre os processos de coleta e armazenamento de dados.

EMBRAPA NA MODELAGEM MATEMÁTICA DA PRODUÇÃO VEGETAL NO CONTEXTO DE P&D

A questão da modelagem e simulação (M&S) aparece entre as prioridades da Embrapa desde a década de 70, mas a empresa mantinha uma linha muito experimental e custosa. Foi no documento “Estratégia Gerencial da Embrapa - Macroprioridades/1997”, que claramente a questão da M&S foi dirigida para o desenvolvimento de tecnologias que busquem a eficiência do setor produtivo, visando reduzir custo e tempo na geração de produtos que tenham espaço no mercado, apoiando-se no uso eficiente dos mecanismos de acesso à informação, no uso de modelos de simulação e testes de laboratórios, na inovação dos métodos e meios de transferência de tecnologias, em pesquisa colaborativa e em parcerias institucionais e estratégicas (EMBRAPA, 1997).

Todavia, é no direcionamento geral da empresa, em seus princípios básicos para novos projetos, que aspectos da pesquisa em M&S são favorecidos e fortalecidos (PRONAPA, 1998), tais como:

- Parceria com outras Instituições e com a Iniciativa Privada, pois há muito interesse em projetos envolvendo M&S.

- Enfoque de sistemas: a M&S é uma ferramenta poderosa para a geração de cenários alternativos para sistemas de produção e/ou analisar parte deles;
- Cadeias produtivas: a M&S é uma ferramenta que tem sido muito usada para a detecção de “pontos de estrangulamento” de cadeias produtiva e também associada à geração de cenários dos melhores encadeamentos de operações unitárias e associadas à análises econômicas;
- Sustentabilidade do meio ambiente em ecossistemas de produção vegetal: a M&S tem sido muito utilizada em estudos de indicadores de sustentabilidade de sistemas produtivos tanto em modelagem de processos no sistema solo-planta, assim como na área de economia ambiental.

O papel da Embrapa Informática Agropecuária (CNPTIA) neste contexto, já pode ser observado no seu próprio Plano Diretor da Unidade (PDU). Destaca-se no espectro das atividades da pesquisa os recursos da tecnologia de informação. Estes recursos da tecnologia de informação também têm sido essenciais, tanto no gerenciamento, análise e visualização de volumes de dados sempre crescentes, como na sua própria realização, através de mecanismos de pesquisa colaborativa distribuída e na crescente tendência de utilização de modelos matemáticos de simulação para sistematização de conhecimentos e para diminuição dos custos de experimentação direta, o que deve ser tratado pelo Núcleo Temático de Modelagem e Simulação - recentemente criado pelo novo Regulamento Interno do CNPTIA (referência do Boletim de Comunicações Administrativas - BCA). Um outro aspecto estratégico é a presença do CNPTIA no Campus da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), o que possibilita a formação de estreita parceria com o seu Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação (IMECC), que possui um Grupo de Biomodelagem; isto favorece a realização de trabalhos de pesquisa para descrever sistemas de produção vegetal, em modelos matemáticos que englobem dados da vida do vegetal e variáveis a ela correlacionadas, permitindo predições, conclusões e interpretações biológicas que levarão à redução de gastos e aumento da lucratividade do produtor, além de um melhor manejo do vegetal ou pastagem, buscando o máximo aproveitamento com mínimo gasto.

Dentre uma série de vantagens em se utilizar modelagem e simulação no âmbito da pesquisa em

produção vegetal, que têm sido levantadas pela equipe do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento (DPD) e da Secretaria de Administração Estratégica (SEA) da Embrapa/Sede em várias ocasiões, podem ser citadas as seguintes vantagens estratégicas e de P&D para o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA):

- são valiosas auxiliares na geração de novas idéias e tecnologias e na posterior avaliação das mesmas;
- oferecem apoio estratégico na fase de teste e adaptação de tecnologias (ou serviços) a unidades com demandas específicas de produção vegetal;
- tornam disponível uma infra-estrutura centralizada de informática (banco de dados experimental) e de modelos, entre outros, para organizar os conhecimentos do funcionamento de um sistema em suas partes e permite conhecer pontos de estrangulamento na cadeia produtiva vegetal. Desta forma, disponibilizam conhecimentos em áreas do sistema onde o conhecimento da comunidade em geral é vago ou inexistente, em especial visando a construção de Sistemas de Suporte a Decisão (SAD) e que requeiram poucos parâmetros a serem medidos pela pesquisa;
- permitem a análise de sensibilidade em sistemas de produção, a qual fornece um estudo sobre a influência das variáveis (uma ou mais) do sistema no seu funcionamento e selecionar os parâmetros mais relevantes para compor os SADs;
- proporcionam indicadores de prioridades de pesquisa e ajudam na escolha de melhores opções de modelagem matemática e na escolha de ferramentas computacionais mais adequadas;
- analisam a relação custo/ benefício em se adotar um método, sistema, etc.;
- oferecem perspectivas de redução de custos dentro da cadeia produtiva;
- possuem a capacidade de organizar/entender a complexidade de um sistema de forma didática (análise da cadeia produtiva) e devem permitir a visualização das partes do modelo e não apenas utilizá-lo como “caixa preta”;
- fornecem orientações no sentido de se obter qual é a demanda da clientela ou mercado tecnológico;
- propiciam uma visão holística do sistema produtivo que está intimamente relacionado à visão de análise de sistemas.

ABSTRACT

This work presents a critical vision of a modelling and simulation uses in cultures as an analysis and support decision tool for the researchers. The applied modelling is used to the vegetable production, and it is going from the simplest modelling to the most complex techniques, to show the users some basic guidelines for its implantation. The models are discussed as analysis tool, the need of the appropriate computational platform and its coherent integration with database, which contains the experimental and edafo-climatic information requested to run the model. This procedure can be exemplified with the wheat culture. The article is concluded with a risk analysis and technical and managerial revision points to the projects become successful in the area research.

KEY-WORDS: numerical modelling; vegetal growth; nutrients dynamic; support decision systems

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASSANEZI, R. C.; FERREIRA JUNIOR, W. C. *Equações diferenciais com aplicações*. São Paulo. Harbra, 1988. p. 572
- EMBRAPA. Deliberação n. 12/99 - Regimento Interno Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Agricultura (Embrapa Informática Agropecuária). *Boletim de Comunicações Administrativas*. Brasília, v. 25, n. 21, p. 5-16, 10 jan. 1999.
- HUNT, L. A.; PARARAJASINGHAM, S. Cropsim-Wheat: a model describing the growth and development of wheat. *Canadian Journal Plant Science*, n. 75, p. 619-632, 1995.
- PRONAPA – Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da Agropecuária. Brasília: Embrapa, 1998. p. 274.
- SILVA, F. C. da et al. Aplicabilidade de Sistemas de Suporte à Decisão em Sistemas Agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2., Belém, PA. No Contexto da qualidade ambiental e competitividade: resumos expandidos, Belém; Embrapa-CPATU, 1998. p. 109-113.

TATIZANA, S. A. *Um modelo conceitual de simulação da produção de gado de corte*. 1995. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WRIGHT, A. Farming systems, models and simulation. In: DENT, J. B; ANDERSON, J. R. *Systems Analysis in Agricultural Management*. Sidney: John Wiley & Sons Australia Pty Ltd, 1971. p. 17-33.